



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

# **DEGRADASI ZAT WARNA RHODAMIN B SECARA SONOLISIS DAN OZONOLISIS SERTA PENDETEKSIANNYA MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER UV-VIS DAN HPLC**

## **SKRIPSI**



**MELI HENDRI YETI  
07 132 006**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG 2011**

## Abstrak

### Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dan Ozonolisis Serta Pendeteksiannya Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS dan HPLC

Oleh

**Meli Hendri Yeti (07132006)**

**Sarjana Sains (S.Si) dalam Bidang Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Andalas**

**Dibimbing oleh: Prof. Dr. Safni, M. Eng dan Drs. Yulizar Yusuf, MS**

Penelitian degradasi zat warna Rhodamin B telah dilakukan secara sonolisis dan ozonolisis. Metoda sonolisis menggunakan ultrasonik dengan frekuensi 47 kHz dan penambahan 0,1000 g katalis  $\text{TiO}_2$  anatase, sedangkan ozonolisis menggunakan reaktor ozon. Pendeteksiannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan HPLC. Pendeteksian dengan spektrofotometer UV-Vis pada  $\lambda = 553,5$  nm menunjukkan terjadinya penurunan absorban dari Rhodamin B setelah dilakukan proses degradasi. Hal yang sama juga diperoleh melalui pendeteksian dengan HPLC, dan dapat pula diketahui bahwa adanya puncak-puncak senyawa intermediet yang terbentuk setelah proses degradasi. Rhodamin B 2 mg/L dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase secara sonolisis optimum pada pH 5, suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ , dan selama 180 menit dengan persentase degradasi sebesar 60,05%. Rhodamin B 2 mg/L secara ozonolisis optimum pada pH 3 dan selama 10 menit dengan persentase degradasi mencapai 99,51%. Dari kedua metoda ini, ozonolisis lebih efektif dalam mendegradasi zat warna Rhodamin B.

## **Abstract**

### **Degradation of Rhodamine B Dye by Sonolysis and Ozonolysis Methods Following Its Detection by UV-Vis Spectrophotometer and HPLC**

**By**

**Meli Hendri Yeti (07132006)**

**Bachelor of Science in Chemistry Department**

**Faculty of Mathematics and Natural Sciences**

**Andalas University**

**Advised by: Prof. Dr. Safni, M. Eng and Drs. Yulizar Yusuf, MS**

The research about the degradation of Rhodamine B dye had been done by sonolysis and ozonolysis methods. Sonolysis method was performed using an ultrasound with frequency of 47 kHz and the addition of 0.1000 g anatase  $\text{TiO}_2$ , whereas ozonolysis was used ozone reactor. Its detection by UV-Vis spectrophotometer and HPLC. Detection by UV-Vis spectrophotometer at  $\lambda = 553.5$  showed the reduction of absorbance after degradation. Both instruments showed the reduction of absorbance after degradation, besides that, HPLC could show the peak of intermediate compound that formed during degradation process. Degradation of 2 mg/L Rhodamine B using sonolysis with addition of 0.1000 g anatase  $\text{TiO}_2$  was optimum at pH 5, temperature  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  with the percentage of degradation of 60.05% during 180 minutes sonolysis. Degradation of 2 mg/L Rhodamine B using ozonolysis was optimum at pH 3 with the percentage of degradation was reached 99.51% during 10 minutes ozonolysis. From both methods, ozonolysis was more effective than sonolysis for degradation of Rhodamine B dye.



## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul **“Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dan Ozonolisis Serta Pendeteksiannya Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan HPLC”**.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Universitas Andalas Padang. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan dan do'a dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Ibu Prof. Dr. Safni, M. Eng sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Yulizar Yusuf, MS selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyusunan skripsi ini serta waktunya selama ini.
4. Bapak Dr. Syukri Darajat, M.Si selaku Penasehat Akademik atas nasehat, dukungan serta bimbingannya kepada penulis.
5. Bapak Prof. Emriadi selaku Dekan FMIPA Universitas Andalas Padang.
6. Bapak Dr. Adlis Santoni selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas Padang.
7. Bapak Dr. Mai Efendi selaku Koordinator Pendidikan Jurusan Kimia dan Koordinator Seminar yang senantiasa memberikan kemudahan bagi penulis dalam hal administrasi dan dalam hal pengaturan jadwal seminar.
8. Staf dosen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas atas didikannya selama penulis mengikuti kuliah.
9. Analis dan Pegawai Perpustakaan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas Padang.



10. Rekan-rekan seperjuangan yang telah banyak membantu selama proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini serta semua pihak yang telah memberikan sumbangan pikiran dan bantuan kepada penulis.

Akhir kata penulis mohon maaf bila ada kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.



Padang, Juli 2011

Penulis

DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR LAMPIRAN	
PENDAHULUAN	
1 Latar Belakang.....	
2 Rumusan Masalah.....	
3 Tujuan Penelitian.....	
4 Manfaat Penelitian.....	
DAFTAR PUSTAKA	
1 Rhodamin B.....	
2 Sonolisis .....	
3 Ozonolisis.....	
4 Titanium Dioksida dan Karakternya sebagai Katalis Semikonduktor.....	
5 Spektrofotometer UV-Vis.....	
6 <i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC) .....	
METODOLOGI PENELITIAN	

3.3.1.2 Pembuatan Larutan Buffer pH 3 .....	14
3.3.1.3 Pembuatan Larutan Buffer pH 5 .....	14
3.3.1.4 Pembuatan Larutan Buffer pH 7 .....	14
3.3.1.5 Pembuatan Larutan Buffer pH 9 .....	14
3.3.2 Pengukuran Spektrum Serapan Rhodamin B .....	14
3.3.3 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis Tanpa Penambahan TiO <sub>2</sub> <i>anatase</i> .....	15
3.3.3.1 Penentuan pH Optimum Sonolisis .....	15
3.3.3.2 Penentuan Suhu Optimum Sonolisis .....	15
3.3.3.3 Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Sonolisis .....	15
3.3.4 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dengan Penambahan TiO <sub>2</sub> <i>anatase</i> Pada Variasi Waktu .....	15
3.3.5 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Ozonolisis .....	16
3.3.5.1 Penentuan pH Optimum Ozonolisis .....	16
3.3.5.2 Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Ozonolisis .....	16
3.3.6 Pendeteksian Hasil Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dan Ozonolisis Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan HPLC .....	16
<b>IV. HASIL DAN DISKUSI</b>	<b>18</b>
4.1 Pengukuran Spektrum Serapan Rhodamin B .....	18
4.2 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis tanpa Penambahan TiO <sub>2</sub> <i>anatase</i> .....	19
4.2.1 Penentuan pH Optimum Sonolisis .....	19
4.2.2 Penentuan Suhu Optimum Sonolisis .....	20
4.2.3 Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Sonolisis ..	21
4.3 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dengan Penambahan TiO <sub>2</sub> <i>anatase</i> Pada Variasi Waktu .....	22
4.4 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Ozonolisis .....	24
4.4.1 Penentuan pH Optimum Ozonolisis .....	24
4.4.2 Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Ozonolisis	25
4.5 Pendeteksian Hasil Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dan Ozonolisis Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan HPLC .....	26



<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>30</b>
5.1 Kesimpulan.....	30
5.2 Saran .....	30
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b>	 <b>31</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>34</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Data absorban Rhodamin B pada variasi konsentrasi.....	34
Tabel 2.	Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L setelah sonolisis tanpa penambahan $\text{TiO}_2$ anatase pada suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 1 jam terhadap variasi pH.....	36
Tabel 3.	Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis tanpa penambahan $\text{TiO}_2$ anatase selama 1 jam terhadap variasi suhu.....	37
Tabel 4.	Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis pada suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ tanpa penambahan $\text{TiO}_2$ anatase terhadap variasi waktu.....	39
Tabel 5.	Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis dengan penambahan 0,1000 g $\text{TiO}_2$ anatase pada suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ terhadap variasi waktu.....	41
Tabel 6.	Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L setelah ozonolisis selama 5 menit terhadap variasi pH.....	43
Tabel 7.	Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 3 setelah ozonolisis terhadap variasi waktu.....	44

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur Rhodamin B .....	4
Gambar 2.	Tahapan degradasi Rhodamin B .....	5
Gambar 3.	Spektrum serapan Rhodamin B dalam pelarut akuades pada variasi konsentrasi (a) Rhodamin B 1 mg/L, (b) Rhodamin B 2 mg/L, (c) Rhodamin B 3 mg/L, dan (d) Rhodamin B 4 mg/L ..	18
Gambar 4.	Kurva pengaruh pH pada sonolisis Rhodamin B 2 mg/L tanpa penambahan $\text{TiO}_2$ anatase pada suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 1 jam terhadap persentase degradasi .....	20
Gambar 5.	Kurva pengaruh suhu pada sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan $\text{TiO}_2$ anatase selama 1 jam terhadap persentase degradasi .....	21
Gambar 6.	Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 terhadap variasi waktu .....	22
Gambar 7.	Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan penambahan 0,1000 g $\text{TiO}_2$ anatase terhadap variasi waktu ....	23
Gambar 8.	Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan dan tanpa penambahan 0,1000 g $\text{TiO}_2$ anatase terhadap variasi waktu .....	23
Gambar 9.	Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 3 terhadap variasi pH .....	24
Gambar 10.	Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 3 terhadap variasi waktu .....	26
Gambar 11.	Spektrum serapan Rhodamin B 2 mg/L (a) sebelum ozonolisis dan sonolisis, (b) setelah sonolisis pada pH 5, suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 180 menit dengan penambahan $\text{TiO}_2$ anatase, dan (c) setelah ozonolisis pada pH 3 selama 8 menit .....	27
Gambar 12.	Kromatogram HPLC Rhodamin B 2 mg/L (a) sebelum sonolisis dan ozonolisis, (b) setelah sonolisis pada pH 5, suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 180 menit dengan penambahan 0,1000 g $\text{TiO}_2$ anatase, (c) setelah ozonolisis pada pH 3 selama 8 menit. Kolom Agilent TC-C <sub>18</sub> , fasa gerak metanol HPLC grade, laju alir 1 mL/menit, volume injeksi 20 $\mu\text{L}$ , $\lambda = 554 \text{ nm}$ , dan detektor UV-Vis .....	28



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Kurva Kalibrasi dan Perhitungan Penentuan Absorbtivitas Molar ( $\epsilon$ ) ..... 34
Lampiran 2.	Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L setelah sonolisis tanpa penambahan $\text{TiO}_2$ anatase pada variasi pH..... 36
Lampiran 3.	Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis tanpa penambahan $\text{TiO}_2$ anatase pada variasi suhu ..... 37
Lampiran 4.	Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis pada suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ tanpa penambahan $\text{TiO}_2$ anatase terhadap variasi waktu ..... 39
Lampiran 5.	Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis dengan penambahan 0,1000 g $\text{TiO}_2$ anatase pada suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ terhadap variasi waktu ..... 41
Lampiran 6.	Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L setelah ozonolisis pada variasi pH ..... 43
Lampiran 7.	Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 3 setelah ozonolisis terhadap variasi waktu ..... 44
Lampiran 8.	Gambar Rhodamin B 2 mg/L (a) sebelum sonolisis pada pH 5, (b) setelah sonolisis 3 jam pada pH 5, suhu $40 \pm 1^\circ\text{C}$ dengan penambahan 0,1000 g $\text{TiO}_2$ anatase, (c) sebelum ozonolisis pH 3, dan (d) setelah ozonolisis 8 menit pada pH 3 ..... 46

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan yang sangat pesat dibidang ilmu pengetahuan seiring majunya pembangunan dibidang industri serta teknologi telah memacu manusia untuk dapat memenuhi segala kebutuhan hidup demi tercapainya suatu keselamatan, jaminan dan kualitas hidup tinggi. Akan tetapi timbul berbagai permasalahan lingkungan akibat aktivitas manusia dalam usaha pemenuhan kebutuhannya, salah satunya adalah masalah pencemaran zat warna organik pada limbah cair. Sebagian besar zat warna organik yang terdapat dalam limbah cair akan mengakibatkan masalah lingkungan yang sangat serius.

Kebanyakan zat warna organik merupakan senyawa *non-biodegradable* yang mengandung senyawa azo dan bersifat sangat karsinogen<sup>1</sup>. Oleh karena merupakan bahan sintetik, lingkungan alami tidak mampu mendegradasi senyawa tersebut sehingga dapat terakumulasi di alam.

Rhodamin B merupakan zat warna sintesis berbentuk serbuk. Rhodamin B adalah zat kimia yang berbahaya dan sama sekali tidak boleh dicampurkan ke dalam makanan maupun minuman. Akan tetapi, sebagian produsen makanan dan minuman masih saja menggunakan pewarna sintesis ini untuk produk-produk yang dihasilkannya, seperti sebagai pewarna pada kerupuk dan akhir-akhir ini juga digunakan pada terasi<sup>2</sup>.

Di dalam tubuh, Rhodamin B akan menumpuk pada lemak dan lama kelamaan jumlahnya akan terus bertambah. Bila sudah dalam kondisi yang besar akan mengakibatkan kanker, gangguan fungsi hati (kanker hati), dan kerusakan pada ginjal<sup>2</sup>. Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) melarang penggunaan Rhodamin B untuk kosmetik dan makanan, karena Rhodamin B bersifat karsinogen. Tubuh manusia tidak mampu menguraikan jenis pewarna ini sehingga terjadi penumpukan dan merangsang tumbuhnya sel-sel liar atau kanker. Berdasarkan PerMenKes RI No. 472/MenKes/Per/V/1996, Rhodamin B termasuk dalam Pengamanan Bahan Berbahaya<sup>3</sup>.



Penggunaan Rhodamin B dalam industri akan mengakibatkan senyawa tersebut ditemukan dalam limbah hasil industri. Tanpa perbaikan pengolahan limbah, akan berpotensi menjadi penyebab pencemaran air yang berarti menurunkan kualitas air yang dikonsumsi oleh makhluk hidup. Penggunaan senyawa organik sintetik untuk keperluan industri memberikan dampak negatif yaitu tercemarnya sumber daya air. Pencemar organik yang merupakan senyawa *biodegradable* dan *non-biodegradable* mempunyai sifat racun, apalagi *non-biodegradable* yang bersifat karsinogen.

Mengingat besarnya efek negatif yang ditimbulkan oleh toksisitas zat ini, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengatasinya. Pengolahan limbah dengan metoda konvensional dilakukan dengan cara klorinasi, pengendapan, penyerapan karbon aktif, dibakar, atau diproses secara mikrobiologi. Akan tetapi pengolahan limbah secara konvensional kurang efektif. Penggunaan karbon aktif hanya menyerap pencemar organik yang mempunyai sifat non polar dengan berat molekul rendah sedangkan senyawa non polar dengan berat molekul tinggi tidak tereliminasi. Proses mikrobiologi hanya dapat menguraikan senyawa *biodegradable*, sedangkan senyawa *non-biodegradable* tetap berada dalam lumpur atau *sludge* dan akan kembali ke lingkungan. Pembakaran lumpur atau *sludge* akan mengakibatkan terbentuknya senyawa klorooksida dan karbondioksida<sup>4</sup>.

Pada penelitian ini, dilakukan degradasi polutan organik yaitu zat warna Rhodamin B secara sonolisis dengan menggunakan gelombang ultrasonik dan ozonolisis dengan menggunakan ozon (O<sub>3</sub>). Sonolisis merupakan salah satu metoda yang digunakan untuk mendegradasi zat organik dalam media air dengan menggunakan getaran ultrasonik yang beroperasi pada frekuensi 20 - 500 kHz, dimana dalam prosesnya akan menghasilkan radikal hidroksil dan efek kavitasi<sup>5</sup>. Radikal hidroksil tersebut akan mendekomposisi zat warna Rhodamin B menjadi senyawa yang lebih sederhana. Untuk mendapatkan hasil dekomposisi yang efektif disini ditambahkan TiO<sub>2</sub> *anatase* sebagai katalis yang telah terbukti mampu mengkatalis dekomposisi senyawa organik. TiO<sub>2</sub> *anatase* merupakan katalis yang efektif digunakan untuk degradasi senyawa-senyawa organik toksik seperti pestisida dan zat warna<sup>6,7,8,9,10</sup>. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan Naphtol



blue black terdegradasi 100% setelah diiradiasi 60 menit dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase<sup>6</sup>, Sudan I terdegradasi 100% setelah diiradiasi selama 180 menit dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase<sup>7</sup>, dan Alizarin terdegradasi 100% setelah diiradiasi selama 30 menit dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase<sup>8</sup>, Rhodamin B terdegradasi 93,49% setelah difotolisis selama 120 menit dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase<sup>11</sup>.

Ozonolisis merupakan suatu metoda degradasi senyawa organik dengan menggunakan ozon ( $\text{O}_3$ ), dimana terjadi pemecahan antara  $\text{C}=\text{C}$  sehingga menghasilkan ikatan rangkap  $\text{C}=\text{O}$ <sup>12</sup>. Dalam fasa air, ozon dapat diuraikan oleh ion  $\text{OH}^-$  atau basa konjugasi dari  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $\text{HO}_2^-$ ) menjadi radikal  $\text{HO}_2$  dan radikal  $\text{OH}$  yang dapat membantu proses degradasi<sup>13</sup>.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini, yaitu apakah metoda sonolisis dan ozonolisis dapat mendegradasi zat warna Rhodamin B. Selanjutnya, dilakukan pendeteksian dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC).

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase degradasi zat warna Rhodamin B secara sonolisis dan ozonolisis dan membandingkan hasil degradasi dari kedua metoda ini serta pendeteksian dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC).

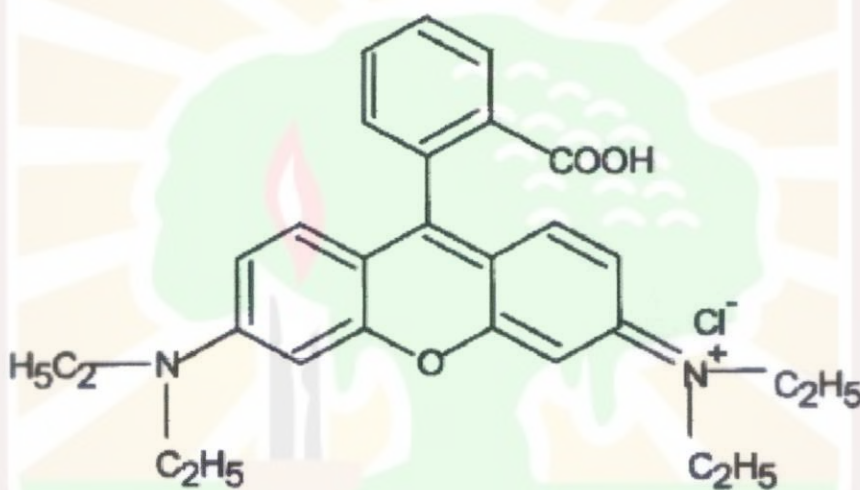
## 1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini memberikan informasi yang bermanfaat untuk membantu usaha penanganan limbah yang mengandung zat warna Rhodamin B melalui proses degradasi menggunakan metoda sonolisis dan ozonolisis sehingga diperoleh hasil degradasi dari zat warna Rhodamin B yang diharapkan ramah lingkungan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Rhodamin B

Rhodamin B mempunyai rumus umum  $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$  dengan kandungan C sebesar 70%, H 6,25%, Cl 7,40%, N 5,85%, dan O 10,02%. Nama kimia dari Rhodamin B ini adalah N-[9-(2-karboksifenil)-6-(dietilamino)-3H-xanthen-3-liden] dan nama lainnya tetraetilrhodamin. Rhodamin B ini memiliki berat molekul sebesar 479,02 g/mol. Struktur dari Rhodamin B yaitu sebagai berikut :



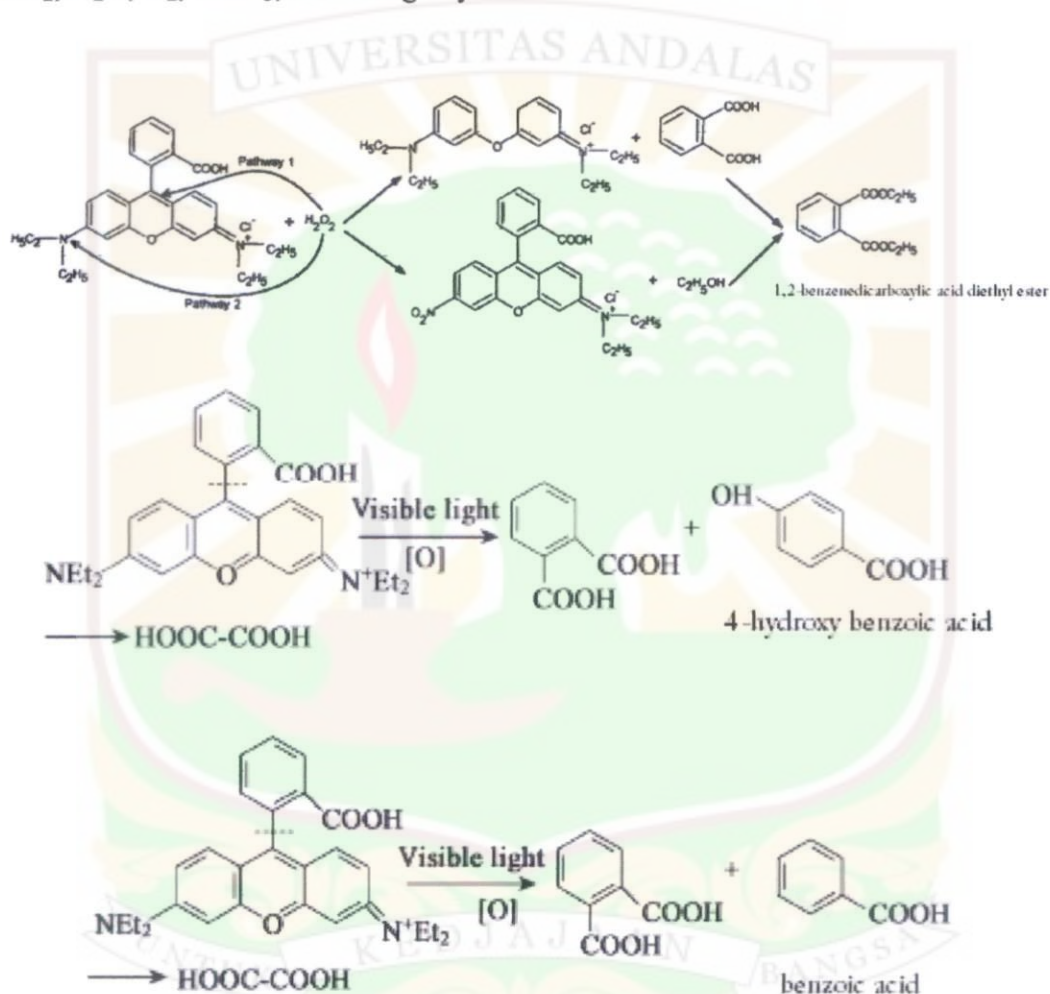
Gambar 1. Struktur Rhodamin B.

Rhodamin B adalah zat warna sintetis yang berwarna ungu kemerahan dalam bentuk serbuk dan berwarna hijau dalam bentuk kristal. Titik leleh Rhodamin B yaitu  $165^{\circ}\text{C}$ . Rhodamin B mudah larut dalam air dan alkohol, sedikit larut dalam HCl dan NaOH. Pengukuran dengan Spektrofotometer UV-Vis menunjukkan  $\lambda_{\text{max}}$  berkisar 546 - 556 nm<sup>14</sup>.

### 2.2 Sonolisis

Metoda sonolisis menggunakan iradiasi ultrasonik terhadap zat yang akan didegradasi, yang beroperasi pada frekuensi antara 20 - 500 kHz<sup>15</sup>. Gelombang ultrasonik dalam air limbah memiliki kemampuan mendegradasi senyawa yang sukar terurai karena dalam prosesnya akan menghasilkan radikal hidroksil dan

efek kavitasi<sup>5</sup>. Sonolisis menghasilkan spesies-spesies reaktif seperti radikal OH, radikal H, dan radikal HO<sub>2</sub> dalam larutan berair teroksigenasi. Efek dari sonolisis pada larutan air adalah memecah air menjadi radikal H dan radikal OH yang dapat merusak senyawa organik dalam larutan. Rusaknya senyawa organik tersebut akan menghasilkan senyawa-senyawa organik intermediet dan jika sonolisis terus berlangsung pada akhirnya akan terjadi mineralisasi senyawa tersebut menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan sebagainya<sup>16</sup>.

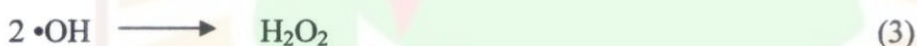
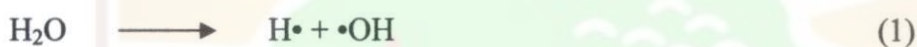


**Gambar 2.** Tahapan degradasi Rhodamin B<sup>17,18</sup>.

Dari Gambar 2 dapat dilihat tahapan degradasi zat warna Rhodamin B. Degradasi Rhodamin B melalui beberapa tahap (*degradation pathway*) menghasilkan senyawa-senyawa organik intermediet dan jika proses degradasi terus berlangsung pada akhirnya akan terjadi mineralisasi senyawa tersebut menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, dan HNO<sub>3</sub><sup>16</sup>.



Efek kavitasi terjadi karena energi akustik yang diberikan adalah energi mekanik yang tidak diserap oleh molekul. Proses kavitasi tersebut dari pembentukan, pertumbuhan dan mengembang mengempisnya gelembung pada larutan<sup>16</sup>. Pada kondisi tertentu suhu dan tekanan pada permukaan dalam gelembung menjadi sangat tinggi, sehingga mampu memecah molekul air menjadi radikal hidrogen dan radikal hidroksil. Kavitasi tersebut memberikan efek fisik dan kimia tertentu yang berperan dalam proses degradasi senyawa. Efek fisik yang ditimbulkan oleh proses kavitasi adalah meningkatnya reaktivitas katalis melalui perluasan permukaan, sedangkan efek kimia yang terjadi adalah meningkatnya kecepatan reaksi pembentukan spesies reaktif yang berperan dalam degradasi senyawa. Reaksi homolisis air yang terjadi dalam proses sonolisis<sup>19</sup>.



Molekul zat terlarut yang berdifusi ke dalam gelembung mampu untuk mendegradasi senyawa berbahaya karena bersifat sangat reaktif. Radikal OH adalah radikal bebas utama yang berperan dalam reaksi degradasi dan kecepatan pembentukan radikal tersebut dipengaruhi oleh efisiensi sonolisis. Akan tetapi radikal OH yang dihasilkan tersebut juga dapat bergabung satu sama lain membentuk  $\text{H}_2\text{O}_2$  dalam air dan berperan mengurangi efisiensi sonolisis. Untuk meningkatkan efisiensi degradasi sonolisis ditambahkan katalis yang dapat meningkatkan produksi radikal OH, sehingga mempercepat proses degradasi senyawa organik<sup>19</sup>.

Efisiensi sonolisis berkurang pada suhu tinggi. Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi efek kavitasi dari ultrasonik menjadi lemah karena gelembung yang dihasilkan menjadi sangat kecil dan telah menguap dari larutan sebelum mengalami pertumbuhan dan akhirnya pecah karena iradiasi ultrasonik<sup>20</sup>.

Penurunan efisiensi degradasi sonolisis pada suhu tinggi juga disebabkan karena semakin cepatnya penggabungan radikal OH menjadi  $\text{H}_2\text{O}_2$  (reaksi 3-4).

Senyawa peroksida ini dapat mengganggu radikal hidroksil yang berperan dalam degradasi senyawa organik dalam air<sup>21</sup>.

Adanya gelombang ultrasonik yang ditransmisikan ke dalam medium menyebabkan perubahan tekanan. Perubahan tekanan ini mengakibatkan adanya kompresi (pemampatan) dan ekspansi (peregangan) terhadap struktur molekul medium. Penggunaan gelombang ultrasonik terhadap limbah cair memiliki efisiensi yang besar untuk mendegradasi senyawa. Tujuan penggunaan ultrasonik berkekuatan tinggi adalah untuk membuat perubahan fisik yang permanen. Pembersihan dengan menggunakan ultrasonik pada skala industri telah digunakan secara luas. Pembersihan secara ultrasonik lebih baik digunakan pada material seperti gelas, logam, dan plastik, dimana zat tersebut akan memvibrasi getaran daripada mengabsorbsinya. Sifat ini berguna apabila digunakan untuk membersihkan peralatan dalam bentuk yang susah dijangkau.

### 2.3 Ozonolisis

Metoda ozonolisis pertama kali ditemukan oleh Christian Friedrich Schonbein pada tahun 1840. Sebelum ditemukannya teknik-teknik spektroskopik, ozonolisis merupakan metoda untuk menentukan struktur molekul organik. Ilmuwan kimia mengozonisasi rantai alkena yang belum diketahui menjadi struktur yang lebih kecil sehingga dapat diidentifikasi.

Ozonolisis merupakan suatu metoda degradasi senyawa organik dengan menggunakan ozon ( $O_3$ ), dimana terjadi pemecahan ikatan antara  $C=C$  sehingga menghasilkan ikatan rangkap  $C=O$ . Hasil degradasi ini tergantung pada jenis ikatan rangkap yang teroksidasi dan kondisi kerja. Ozonolisis alkena dapat membentuk alkohol, aldehid, dan keton atau asam karboksilat. Dengan adanya ozon ( $O_3$ ), mengakibatkan terjadinya pemutusan ikatan antara  $\pi$  dan  $\delta$  pada alkena, menghasilkan 2 ikatan  $C=O$  yang baru. Dalam fasa air, ozon dapat diuraikan oleh ion  $OH^-$  atau basa konjugasi dari  $H_2O_2$  ( $HO_2^-$ ) menjadi radikal  $OH$  dan radikal  $HO_2$  seperti reaksi berikut<sup>13</sup> :







Ozon dapat bereaksi dengan senyawa organik baik langsung atau tidak langsung melalui dekomposisi dan formasi dari radikal hidroksil atau oksidasi dari spesies organik yang mungkin terjadi melalui kombinasi reaksi dengan molekul ozon dan reaksi dengan hidroksil radikal<sup>22</sup>.

#### 2.4 Titanium Dioksida dan Karakternya sebagai Katalis Semikonduktor

Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) dikenal sebagai semikonduktor tipe-n yang memiliki celah energi relatif besar dengan sifat super hidrofilik ketika terkena cahaya.  $\text{TiO}_2$  merupakan senyawa dioksida berwarna putih yang tahan karat dan tidak beracun.  $\text{TiO}_2$  sering digunakan sebagai katalis untuk dekomposisi senyawa-senyawa organik toksik seperti pestisida, zat warna, dan lain-lain.  $\text{TiO}_2$  biasanya terdapat dalam bentuk powder atau lapisan tipis film, bersifat amfoter, dan sulit larut dalam air. Massa molekul relatif 79,90 g/mol dengan kadar Ti sebesar 59,95% dan kadar O 40,05%. Titik leleh dari  $\text{TiO}_2$  ini sebesar 1870°C.  $\text{TiO}_2$  merupakan salah satu katalis yang paling stabil, paling sering digunakan dibandingkan dengan katalis lainnya.  $\text{TiO}_2$  menunjukkan kestabilan yang tinggi secara kimia dan relatif tidak mahal<sup>23</sup>.

$\text{TiO}_2$  memiliki tiga macam struktur kristal yaitu *anatase* (tetragonal), *rutile* (tetragonal) dan *brookite* (ortorombik). *Anatase* dikenal sebagai kristal yang paling reaktif terhadap cahaya. *Anatase* memiliki aktivitas fotokatalitik terbaik, eksitasi elektron ke pita konduksi dapat dengan mudah terjadi apabila kristal ini dikenai cahaya dengan energi yang lebih besar daripada celah energinya. Perbedaan struktur kristal  $\text{TiO}_2$  mengakibatkan perbedaan tingkat energi struktur pita elektroniknya. Tingkat energi hasil hibridisasi yang berasal dari kulit 3d titanium bertindak sebagai pita konduksi sedangkan tingkat energi hasil hibridisasi dari kulit 2p oksigen bertindak sebagai pita valensi. Konsekuensinya



posisi tingkat energi pita valensi, pita konduksi dan besarnya energi gap akan berbeda bila lingkungan dan/atau penyusunan atom Ti dan O di dalam kristal  $\text{TiO}_2$  berbeda seperti pada struktur *anatase* ( $E_g = 3,2 \text{ eV}$ ) dan *rutile* ( $E_g = 3,0 \text{ eV}$ )<sup>24</sup>.

Titanium dioksida merupakan katalis yang paling cocok digunakan untuk degradasi senyawa organik karena  $\text{TiO}_2$  paling aktif dan praktis untuk diaplikasikan dalam penanganan masalah lingkungan seperti pengolahan limbah cair, pengendalian limbah berbahaya, purifikasi udara dan desinfeksi air<sup>25</sup>.  $\text{TiO}_2$  sebagai fotokatalis dipelajari secara ekstensif untuk degradasi polutan lingkungan. Reaksi fotokatalitik terjadi pada permukaan, oleh karena itu sifat permukaan  $\text{TiO}_2$  menjadi faktor penting yang menentukan kinetika dan mekanisme reaksi fotokatalitik. Aktivitas katalitiknya dipengaruhi oleh struktur kristal, luas permukaan, distribusi ukuran partikel, porositas, densitas permukaan group hidroksil, dan sebagainya.

Proses fotodegradasi senyawa organik dengan bantuan fotokatalis semikonduktor akan menghasilkan produk-produk mineralisasi. Karbon dalam senyawa organik berubah menjadi karbondioksida, nitrogen menjadi ion nitrat dan ion ammonium serta belerang menjadi ion sulfat<sup>26</sup>.

## 2.5 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer merupakan suatu metoda analisis yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis suatu lajur larutan dengan menggunakan monokromator sistem prisma atau kisi diraksi dan detektor fotosel. Spektrofotometer terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Jadi, spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan, atau diemisikan sebagai fungsi gelombang<sup>27</sup>.

Radiasi elektromagnetik UV-Vis tersebut mempunyai panjang gelombang berkisar 200 - 800 nm. Sinar UV mulai dari 200 - 400 nm dan sinar tampak 400-800 nm. Absorpsi radiasi akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron. Penggunaan spektrofotometri UV-Vis pada senyawa organik adalah berdasarkan

transisi  $n - \pi^*$  dan  $\pi - \pi^*$ . Atom atau molekul akan mengabsorpsi pada daerah panjang gelombang yang energinya sesuai dengan beda energi antara keadaan dasar dan keadaan tereksitasi dari atom atau molekul. Panjang gelombang yang diabsorpsi spesifik untuk masing-masing senyawa<sup>28</sup>.

Untuk pengukuran secara kuantitatif, metoda spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk menentukan konsentrasi larutan, dimana absorpsi sinar oleh larutan merupakan fungsi konsentrasi. Pada kondisi optimum, didapatkan hubungan linier antara absorpsi larutan dan konsentrasi larutan tersebut. Persamaan yang menggambarkan hubungan linier tersebut dikenal dengan hukum Lambert-Beer, yakni : “Jika seberkas sinar dilewatkan melalui suatu larutan, maka sebagian sinar tersebut akan diserap dan sebagian lagi akan diteruskan”. Hubungan antara absorban dengan konsentrasi adalah :  $A = \epsilon \cdot b \cdot c$ , dimana  $A$  merupakan absorban,  $\epsilon$  sebagai serapan spesifik ( $\text{cm}^{-1}\text{M}^{-1}$ ),  $b$  menunjukkan lajur larutan (cm), dan  $c$  menyatakan konsentrasi (M).

Suatu spektrofotometer tersusun dari sumber cahaya, monokromator, kuvet, detektor, dan rekorder. Sumber cahaya yang biasa digunakan untuk sinar tampak adalah lampu wolfram dan untuk daerah UV adalah lampu hidrogen dan lampu deuterium. Monokromator berupa kisi atau prisma berfungsi mengubah cahaya polikromatis menjadi monokromatis. Untuk mengarahkan sinar monokromatis yang diinginkan dari hasil penguraian ini dapat digunakan celah. Jika celah posisinya tetap maka prisma gratingnya yang dirotasikan untuk mendapatkan panjang gelombang yang diinginkan. Kuvet digunakan sebagai wadah sampel, untuk sinar tampak menggunakan kuvet kaca atau kuvet corex, dan untuk panjang gelombang UV digunakan kuvet kuarsa. Umumnya tebal kuvet adalah 10 mm. Detektor, peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang. Detektor ini terdiri dari tabung gelas hampa yang berisi anoda, katoda, dan jendela kuarsa. Katoda ini terbuat dari logam alkali atau alkali alkoksida atau dari logam lain yang dilapisi dengan alkali, karena logam alkali atau alkoksidanya mudah melepaskan elektron. Jendela kuarsa digunakan untuk melewatkan cahaya dari sumber radiasi. Detektor yang sering digunakan adalah *photomultiplier tube* atau *photodiodearray*. Sedangkan rekorder untuk membaca sinyal dari detektor.



## 2.6 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

*High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) berasal dari kromatografi kolom klasik. Pemisahan dengan HPLC mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan metoda konvensional seperti waktu analisis yang cepat, biaya rendah, dan kemungkinan untuk menganalisis sampel yang tidak stabil<sup>29</sup>. HPLC dapat digunakan untuk sebagian besar senyawa yang tidak menguap dan senyawa berbobot molekul tinggi. Selain itu HPLC dapat dipakai untuk senyawa organik, yang sebagian besar tidak menguap. HPLC biasanya dilakukan pada suhu kamar. Senyawa yang tidak tahan panas dapat ditangani dengan mudah<sup>30</sup>.

Pada analisis zat warna kromatografi yang dipakai adalah *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) atau dikenal juga dengan kromatografi cair kinerja tinggi.

Metoda HPLC dapat digunakan dalam berbagai lapangan seperti farmasi, biokimia, industri makanan, industri kimia, kimia forensik, laboratorium klinik, laboratorium klinik dan polutan<sup>31</sup>.

Dalam metoda HPLC ada tiga variabel yang akan menentukan baik tidaknya pemisahan senyawa yaitu fasa diam, fasa gerak, dan detektor. Fasa diam berupa senyawa polar dimana permukaannya tidak terikat seperti silika dan alumina. Fasa diam yang bersifat nonpolar, permukaan dari silika terikat dengan senyawa organik.

Fasa diam merupakan reaksi antara klorosilana dengan gugus hidroksil dari silika dimana permukaan silika banyak mengandung gugus hidroksil sekitar  $27 \times 10^{27}$  gugus hidroksil/m<sup>2</sup>. Fasa diam non polar yang paling umum digunakan adalah C<sub>8</sub> (oktilsilana) dan C<sub>18</sub> (oktadesil silana). Sebaliknya fasa gerak yang digunakan mempunyai kepolaran yang lebih tinggi. Dalam hal ini dapat digunakan pelarut metanol, asetonitril dan air yang dicampurkan pada perbandingan tertentu.

Fasa gerak yang digunakan dalam metoda HPLC harus mempunyai syarat-syarat tertentu yakni mempunyai tingkat kemurnian yang tinggi, mudah didapatkan, titik didih 20 – 50°C diatas temperatur kolom, kekentalan rendah, kurang reaktif, sesuai dengan detektor yang digunakan dan tidak mudah terbakar<sup>32</sup>. Fasa gerak disebut juga sebagai eluen bertujuan untuk membawa



sampel melewati kolom dan mengelusi komponen sampel yang terdistribusi antara fasa gerak dan fasa diam.

Pemisahan pada HPLC terjadi secara dinamis, oleh sebab itu diperlukan sistem deteksi yang dapat bekerja secara langsung dan menghasilkan rekaman yang spontan dari peristiwa-peristiwa yang terjadi pada kolom HPLC. Suatu detektor dibutuhkan untuk mendeteksi adanya komponen sampel di dalam kolom (analisis kualitatif) dan menghitung kadarnya (analisis kuantitatif). Detektor yang baik harus mempunyai sensitifitas yang tinggi pada konsentrasi rendah dari analit dan volume yang kecil untuk menghindari pelebaran pita, gangguan (noise) yang rendah, kisaran respons linier yang luas, dan memberi respons untuk semua tipe senyawa.

Detektor absorpsi UV-Vis adalah detektor yang paling banyak digunakan dalam metoda HPLC karena sebagian besar senyawa organik mengabsorpsi sinar dalam daerah UV dari spektrum elektromagnetik<sup>32</sup>. Pada panjang gelombang ini pelarut sangat sedikit atau sama sekali tidak menyerap sinar, sedangkan analit menyerap dengan kuat. Kesensitifan detektor absorpsi UV-Vis tergantung pada koefisien absorptivitas molar komponen analit. Analit dengan absorptivitas yang besar akan memberikan batas deteksi yang baik dibandingkan analit dengan absorptivitas yang lebih kecil. Disamping detektor UV-Vis detektor lain yang digunakan yaitu detektor fluorescence, elektrokimia, ionisasi nyala, indeks refraksi, konduktiviti, spektromassa dan FT-IR.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analisis Terapan, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas Padang terhitung mulai bulan Januari sampai Juni 2011.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat HPLC (Agilent Technologies), Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu, ultrasonik VC-1 dengan frekuensi 47 kHz dan daya 110 watt, magnetic stirrer (SRS 116 AA Advanced), neraca analitik (KERN, ALJ 220-4 m), sentrifus dengan kecepatan 6.000 rpm (Profuge Model PRF 6 KP, Korea), reaktor ozon (Bioozone space age sterilizer, Natural Health Science Sdn. Bhd, Malaysia), termometer, pH meter, dan peralatan gelas.

##### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rhodamin B bubuk (Wakopure, Chem. Ind),  $\text{TiO}_2$  anatase (Ishihara Sangyo, Ltd, Japan), metanol HPLC grade,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  p.a,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  25%,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , dan akuades.

#### 3.3 Prosedur Kerja

##### 3.3.1 Pembuatan Reagen

##### 3.3.1.1 Pembuatan Larutan $\text{CH}_3\text{COOH}$ 0,2 M, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 0,2 M, $\text{NH}_4\text{OH}$ 0,2 M, $\text{NH}_4\text{Cl}$ 0,2 M

Larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M dibuat dengan mengencerkan 2,8 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  p.a dalam labu ukur 250 mL dengan akuades. Larutan  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  0,2 M dibuat dengan melarutkan 3,8500 g  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  dengan akuades dalam labu ukur 250 mL. Larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M dibuat dengan mengencerkan 7,7 mL  $\text{NH}_4\text{OH}$  25%



dalam labu ukur 250 mL dengan akuades.  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,2 M dibuat dengan melarutkan 2,6750 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dalam labu ukur 250 mL dengan akuades.

#### **3.3.1.2 Pembuatan Larutan Buffer pH 3**

Larutan buffer pH 3 dibuat dengan mencampurkan 50 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M dengan 1 mL  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  0,2 M, diencerkan dalam labu ukur 500 mL. pH larutan ditepatkan 3 dengan penambahan sedikit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M atau  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  0,2 M sambil diukur dengan menggunakan pH meter.

#### **3.3.1.3 Pembuatan Larutan Buffer pH 5**

Larutan buffer pH 5 dibuat dengan mencampurkan 7,4 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M dengan 17,6 mL  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  0,2 M, diencerkan dalam labu ukur 500 mL. pH larutan ditepatkan 5 dengan penambahan sedikit  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M atau  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  0,2 M sambil diukur dengan menggunakan pH meter.

#### **3.3.1.4 Pembuatan Larutan Buffer pH 7**

Larutan buffer pH 7 dibuat dengan mencampurkan 0,5 mL  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M dengan 90 mL  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,2 M, diencerkan dalam labu ukur 500 mL. pH larutan ditepatkan 7 dengan penambahan sedikit  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M atau  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,2 M sambil diukur dengan menggunakan pH meter.

#### **3.3.1.5 Pembuatan Larutan Buffer pH 9**

Larutan buffer pH 9 dibuat dengan mencampurkan 25 mL  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M dengan 45 mL  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,2 M, diencerkan dalam labu ukur 500 mL. pH larutan ditepatkan 9 dengan penambahan sedikit  $\text{NH}_4\text{OH}$  0,2 M atau  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,2 M sambil diukur dengan menggunakan pH meter.

#### **3.3.2 Pengukuran Spektrum Serapan Rhodamin B**

Sebanyak 0,1000 g rhodamin B dilarutkan dalam 100 mL akuades untuk mendapatkan larutan induk Rhodamin B 1000 mg/L. Kemudian larutan induk Rhodamin B diencerkan menjadi 4 variasi konsentrasi yaitu 1, 2, 3, dan 4 mg/L. Keempat variasi konsentrasi larutan tersebut masing-masing diukur spektrum



serapannya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada  $\lambda$  400 - 800 nm. Kemudian diambil data absorban pada panjang gelombang yang memberikan serapan maksimum.

### **3.3.3 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis Tanpa Penambahan $\text{TiO}_2$ anatase**

#### **3.3.3.1 Penentuan pH Optimum Sonolisis**

Larutan Rhodamin B dengan konsentrasi 2 mg/L disiapkan pada pH 3, 5 (suasana asam), pH 7 (suasana netral), pH 9 (suasana basa) dengan penambahan buffer. Selanjutnya dimasukkan ke dalam botol sonolisis sebanyak 20 mL dan dilakukan sonolisis, kemudian absorban masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

#### **3.3.3.2 Penentuan Suhu Optimum Sonolisis**

Larutan Rhodamin B dengan konsentrasi 2 mg/L dan pada pH optimum dimasukkan ke dalam botol sonolisis sebanyak 20 mL. Selanjutnya dilakukan sonolisis pada variasi suhu  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $45 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ , dan  $55 \pm 1^\circ\text{C}$ . Kemudian absorban masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

#### **3.3.3.3 Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Sonolisis**

Larutan Rhodamin B dengan konsentrasi 2 mg/L dan pada pH optimum dimasukkan ke dalam botol sonolisis sebanyak 20 mL. Selanjutnya dilakukan sonolisis dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit pada suhu optimum. Kemudian absorban masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

### **3.3.4 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dengan Penambahan $\text{TiO}_2$ anatase Pada Variasi Waktu**

Larutan Rhodamin B dengan konsentrasi 2 mg/L dan pada pH optimum dimasukkan ke dalam botol sonolisis sebanyak 20 mL. Kemudian ke dalam larutan ditambahkan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase, selanjutnya dilakukan sonolisis

dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit pada suhu optimum. Hasil sonolisis disentrifus selama 20 menit untuk memisahkan  $\text{TiO}_2$  anatase dari larutan. Kemudian absorban masing-masing larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

### **3.3.5 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Ozonolisis**

#### **3.3.5.1 Penentuan pH Optimum Ozonolisis**

Larutan Rhodamin B dengan konsentrasi 2 mg/L dimasukkan ke dalam erlenmeyer sebanyak 20 mL. Larutan disiapkan pada pH 3, 5 (suasana asam), pH 7 (suasana netral), pH 9 (suasana basa) dengan penambahan buffer. Selanjutnya dilakukan degradasi dengan mengalirkan ozon ke dalam larutan, setelah itu diukur absorban masing-masing larutan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

#### **3.3.5.2 Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Ozonolisis**

Larutan Rhodamin B dengan konsentrasi 2 mg/L dan pada pH optimum dimasukkan ke dalam erlenmeyer sebanyak 20 mL. Kemudian dilakukan degradasi dengan mengalirkan ozon ke dalam larutan dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 menit. Selanjutnya diukur absorban masing-masing larutan yang telah diozonolisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Untuk melakukan perhitungan nilai persentase degradasi digunakan persamaan :

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{A_{\text{awal}} - A_{\text{akhir}}}{A_{\text{awal}}} \times 100 \%$$

Keterangan :

A awal = absorban awal

A akhir = absorban akhir

### **3.3.6 Pendeteksian Hasil Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dan Ozonolisis Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan HPLC**

Pendeteksian hasil degradasi zat warna Rhodamin B secara sonolisis dan ozonolisis dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan HPLC pada kondisi optimum pendegradasian. Pendeteksian dengan HPLC menggunakan kolom Agilent TC-C<sub>18</sub> dengan ukuran 250 x 4,6 mm id, fasa gerak metanol HPLC

grade, suhu kolom 30°C, laju alir 1 mL/menit, volume injeksi 20 µL, dan detektor UV-Vis.

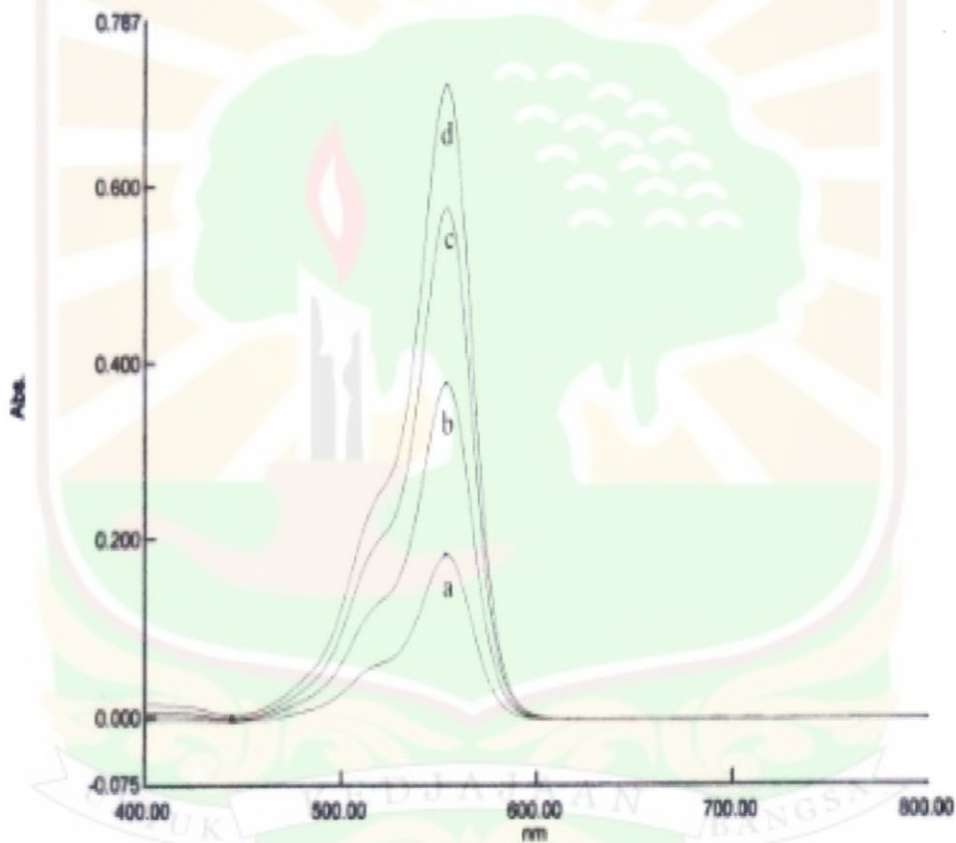




## IV. HASIL DAN DISKUSI

### 4.1 Pengukuran Spektrum Serapan Rhodamin B

Pengukuran spektrum serapan Rhodamin B dilakukan dengan empat variasi konsentrasi yaitu 1, 2, 3, dan 4 mg/L dalam pelarut akuades, bertujuan untuk melihat nilai absorban yang baik dalam pengukuran dengan spektrofotometer. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400 - 800 nm.



**Gambar 3.** Spektrum serapan Rhodamin B dalam pelarut akuades pada variasi konsentrasi (a) Rhodamin B 1 mg/L, (b) Rhodamin B 2 mg/L, (c) Rhodamin B 3 mg/L, dan (d) Rhodamin B 4 mg/L.

Spektrum UV-Vis diatas menunjukkan adanya puncak maksimum yang muncul pada panjang gelombang 553,5 nm. Ini berarti bahwa Rhodamin B memberikan serapan maksimum pada daerah panjang gelombang UV-Vis yaitu pada panjang gelombang 553,5 nm.

Kurva kalibrasi standar dapat digunakan untuk melihat kelinearan antara konsentrasi dengan absorban, setiap kenaikan konsentrasi terjadi kenaikan nilai absorban. Kurva kalibrasi standar Rhodamin B dapat dilihat pada Lampiran 1. Dari kurva kalibrasi diperoleh persamaan regresi,  $y = 0,1818x + 0,0096$  dan nilai  $R^2 = 0,9964$ . Berdasarkan nilai  $R^2$  yang diperoleh terdapat hubungan yang linear antara konsentrasi dengan absorban. Dalam pengerjaan selanjutnya digunakan larutan Rhodamin B 2 mg/L sebagai larutan yang akan didegradasi secara sonolisis dan ozonolisis, karena memberikan nilai serapan 0,385. Nilai tersebut mendekati 0,437 yang merupakan nilai serapan terbaik.

Nilai absorbtivitas molar ( $\epsilon$ ) dari Rhodamin B dapat dihitung berdasarkan nilai serapan yang diperoleh dari hasil pengukuran spektrofotometer UV-Vis. Perhitungan dilakukan berdasarkan Hukum Lambert-Beer dengan tebal kuvet (b) yang digunakan 1 cm dan konsentrasi Rhodamin B 1, 2, 3, dan 4 mg/L dengan nilai absorbtivitas molar ( $\epsilon$ ) dari Rhodamin B  $90.125,62 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ . Nilai ini menunjukkan bahwa kesensitifan pendeteksian cukup tinggi. Nilai absorbtivitas molar ( $\epsilon$ ) spesifik untuk masing-masing senyawa. Perhitungan nilai absorbtivitas molar ( $\epsilon$ ) dan tabel nilai serapan Rhodamin B 1, 2, 3, dan 4 mg/L pada panjang gelombang 553,5 nm dapat dilihat pada Lampiran 1.

## **4.2 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis tanpa Penambahan $\text{TiO}_2$ anatase**

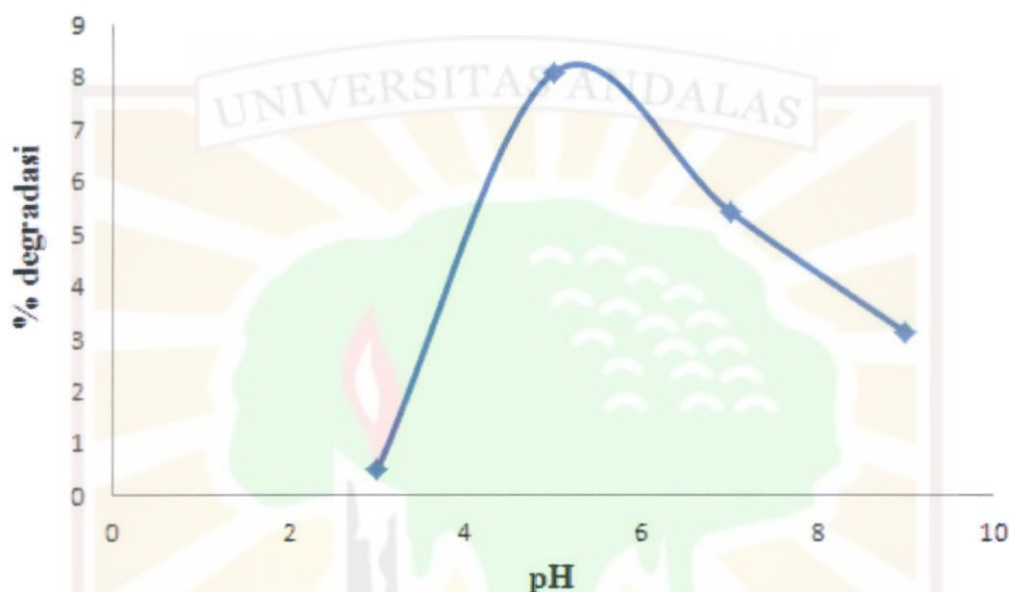
### **4.2.1 Penentuan pH Optimum Sonolisis**

Gelombang ultrasonik yang diberikan pada larutan berair akan menyebabkan fenomena yang dikenal sebagai efek kavitasi yang terdiri dari pembentukan, pertumbuhan, dan mengembang mengempisnya gelembung pada larutan. Proses kimia pada permukaan dalam gelembung disebabkan oleh radikal hidrogen dan radikal hidroksil yang terbentuk selama homolisis air. Molekul zat terlarut yang tidak berdifusi ke dalam gelembung atau berada pada permukaan dalam gelembung akan lebih diserang oleh radikal H dan radikal  $\text{OH}^{19}$ .

Gambar 4 menunjukkan persentase degradasi Rhodamin B sebagai fungsi pH. Dari grafik terlihat bahwa pada pH 5 (sedikit asam) diperoleh efisiensi degradasi yang lebih baik (8,08%), dimana terjadi penurunan absorban dari 0,433



menjadi 0,398. Perbedaan kecepatan degradasi senyawa Rhodamin B pada kondisi asam, netral, dan basa berhubungan dengan sifat hidrofobik dan hidrofilik. Senyawa yang lebih bersifat hidrofobik terkonsentrasi pada permukaan dalam gelembung kavitas dan lebih mudah diserang oleh radikal OH yang terbentuk dari sonolisis air, sehingga lebih mudah terdegradasi.

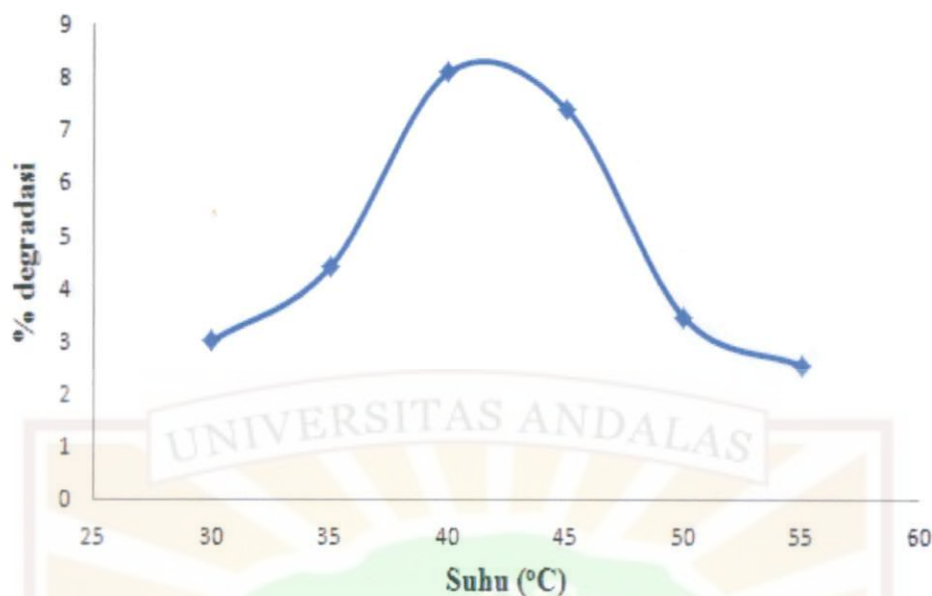


**Gambar 4.** Kurva pengaruh pH pada sonolisis Rhodamin B 2 mg/L tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 1 jam terhadap persentase degradasi.

Pada kondisi asam Rhodamin B akan membentuk kation  $\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{N}_2\text{O}_3^+$  dan pada kondisi basa akan membentuk anion  $\text{C}_{28}\text{H}_{30}\text{N}_2\text{O}_3^-$  sehingga lebih bersifat hidrofilik. Senyawa yang lebih bersifat hidrofilik tidak mudah terkumpul pada permukaan dalam gelembung kavitas sehingga lebih sukar terdegradasi<sup>19</sup>. Data absorbansi Rhodamin B 2 mg/L setelah sonolisis tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 1 jam terhadap variasi pH dan perhitungan persentase degradasi Rhodamin B dapat dilihat pada Lampiran 2.

#### 4.2.2 Penentuan Suhu Optimum Sonolisis

Pengaruh suhu terhadap persentase degradasi Rhodamin B dilakukan pada suhu  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $45 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 1^\circ\text{C}$ , dan  $55 \pm 1^\circ\text{C}$ .



**Gambar 5.** Kurva pengaruh suhu pada sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase selama 1 jam terhadap persentase degradasi.

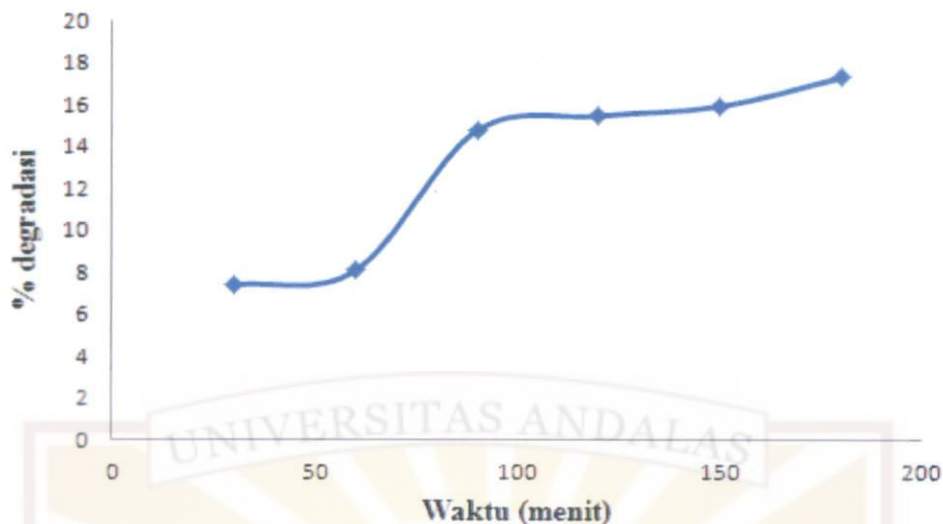
Dari Gambar 5 terlihat bahwa suhu optimum degradasi Rhodamin B adalah  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ , dimana setelah 1 jam sonolisis absorbansi turun dari 0,433 menjadi 0,398 dengan persentase degradasi sebesar 8,08%. Pada suhu yang lebih tinggi kembali terjadi penurunan persentase degradasi. Hal ini diperkirakan karena semakin tinggi suhu maka kecepatan reaksi juga meningkat. Suhu yang cukup tinggi akan membentuk banyak “kavitasi”, dimana suhu dalam kavitasi mampu untuk memecah molekul air menjadi radikal H dan radikal  $\text{OH}^{16,19,20}$ . Radikal ini mampu merusak limbah organik karena potensial oksidasinya yang tinggi. Penurunan persentase degradasi Rhodamin B pada suhu yang lebih tinggi terjadi karena semakin cepatnya penggabungan radikal OH menjadi  $\text{H}_2\text{O}_2$  (reaksi 3-4). Senyawa  $\text{H}_2\text{O}_2$  mengurangi radikal hidroksil yang mendegradasi Rhodamin B.

Data absorbansi Rhodamin B 2 mg/L pada pH 5 setelah sonolisis selama 1 jam dengan variasi suhu dan perhitungan persentase degradasi Rhodamin B dapat dilihat pada Lampiran 3.

#### 4.2.3 Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Sonolisis

Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  dilakukan selama 180 menit dengan interval waktu 30 menit.



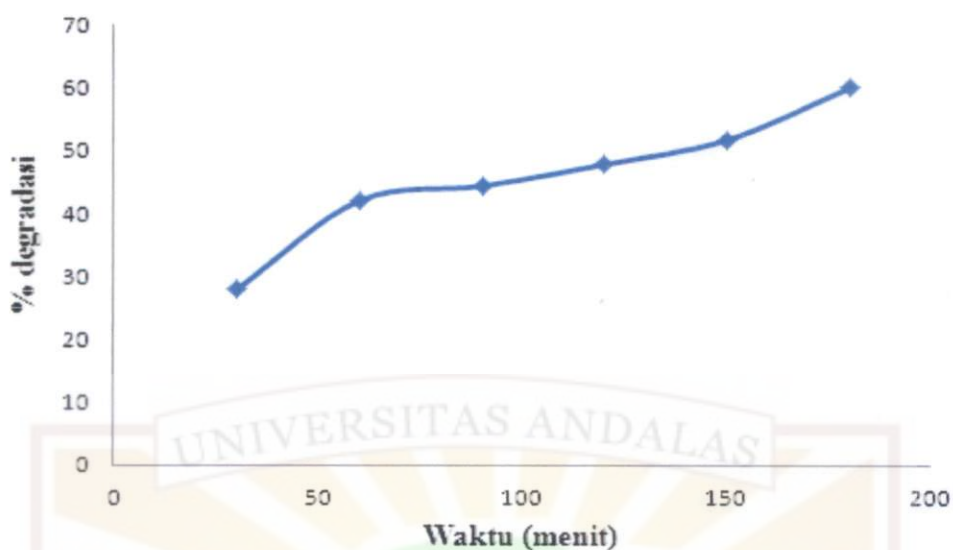


**Gambar 6.** Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 terhadap variasi waktu.

Gambar 6 menunjukkan bahwa persentase degradasi Rhodamin B meningkat dengan bertambahnya waktu, karena semakin banyak radikal OH yang terbentuk untuk mendegradasi Rhodamin B. Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 180 menit menyebabkan absorban turun dari 0,433 menjadi 0,358 dengan persentase degradasi 17,32%. Data absorban Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  terhadap variasi waktu dan perhitungan persentase degradasi Rhodamin B dapat dilihat pada Lampiran 4.

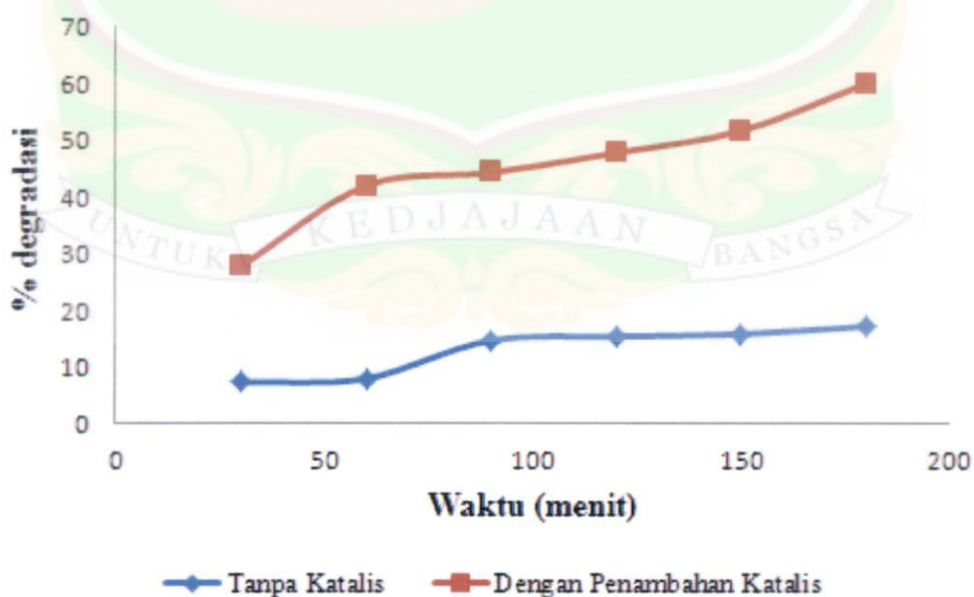
#### **4.3 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dengan Penambahan $\text{TiO}_2$ anatase Pada Variasi Waktu.**

Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase dilakukan selama 180 menit dengan interval waktu 30 menit. Aktivitas katalitik permukaan  $\text{TiO}_2$  dalam larutan berair juga bergantung pada pH. Pada kondisi asam ( $\text{pH} \leq 5$ )  $\text{TiO}_2$  akan membentuk muatan permukaan positif dengan adanya gugus  $\text{TiOH}_2^+$  dan mendekati netral pada pH 5-7. Pada kondisi basa ( $\text{pH} \geq 7$ ) akan membentuk muatan permukaan negatif dengan adanya gugus  $\text{TiO}^-$ . Penurunan persentase degradasi Rhodamin B pada pH 3 terjadi karena adanya tolakan elektrostatis antara kation Rhodamin B ( $\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{N}_2\text{O}_3^+$ ) dan muatan permukaan positif dari  $\text{TiO}_2$ . Pada kondisi basa juga terjadi tolakan elektrostatis antara anion Rhodamin B ( $\text{C}_{28}\text{H}_{30}\text{N}_2\text{O}_3^-$ ) dengan muatan permukaan negatif  $\text{TiO}_2$ .



**Gambar 7.** Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase terhadap variasi waktu.

Gambar 7 menunjukkan bahwa persentase degradasi Rhodamin B meningkat dengan bertambahnya waktu, karena semakin banyak radikal OH yang terbentuk untuk mendegradasi Rhodamin B. Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 180 menit dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase menyebabkan absorbansi turun dari 0,433 menjadi 0,173 dengan persentase degradasi 60,05%.



**Gambar 8.** Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan dan tanpa penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase terhadap variasi waktu.

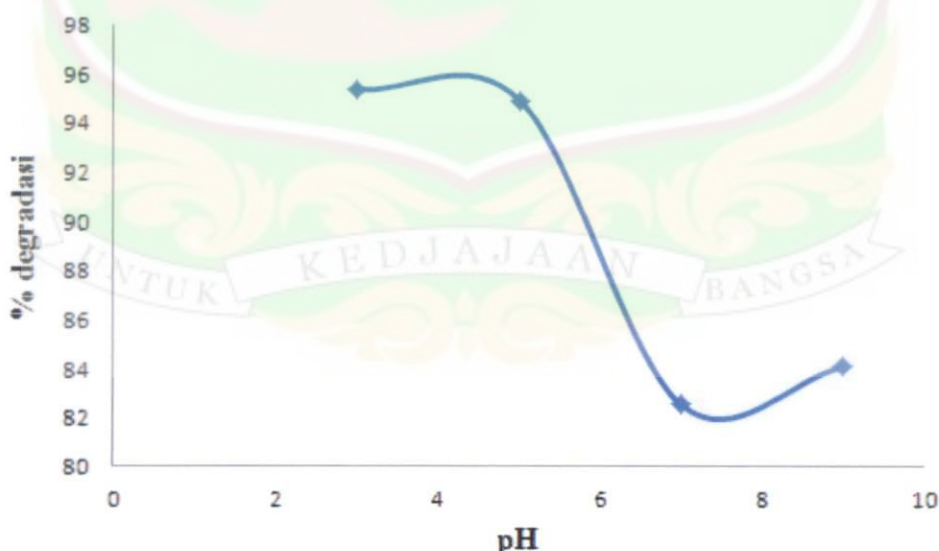


Gambar 8 memperlihatkan bahwa dengan dilakukannya penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 secara sonolisis terjadi peningkatan persentase degradasi. Pada waktu degradasi yang sama selama 180 menit, Rhodamin B terdegradasi sebesar 60,05% dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase, sedangkan tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase hanya terdegradasi sebesar 17,32%. Keefektifan  $\text{TiO}_2$  anatase sebagai katalis lebih jelas terlihat ketika larutan Rhodamin B 2 mg/L pH 5 ditambah 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase kemudian disentrifus selama 20 menit untuk memisahkan  $\text{TiO}_2$  anatase. Data absorbansi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  terhadap variasi waktu dan perhitungan persentase degradasi Rhodamin B dapat dilihat pada Lampiran 5.

#### 4.4 Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Ozonolisis

##### 4.4.1 Penentuan pH Optimum Ozonolisis

Pada proses ozonolisis, kondisi pH sangat berpengaruh terhadap persentase degradasi senyawa organik. Ozon dapat mendegradasi senyawa organik dengan dua cara, yaitu dengan reaksi langsung (*direct selective reaction*) pada kondisi asam, dan reaksi tidak langsung dengan pembentukan senyawa radikal bebas (radikal OH) dari dekomposisi ozon pada kondisi basa.



**Gambar 9.** Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 3 terhadap variasi pH.

Pengaruh pH terhadap degradasi Rhodamin B secara ozonolisis non-katalitik dapat dilihat pada Gambar 9. Gambar ini memperlihatkan degradasi senyawa Rhodamin B terbaik terjadi pada kondisi asam (pH 3) kemudian diikuti pada pH 5, dan kondisi basa (pH 9) serta terakhir pada kondisi netral (pH 7).

Dari kurva yang diperoleh dapat diketahui bahwa persen degradasi sebesar 95,36% dicapai setelah ozonolisis selama 5 menit pada pH 3. Pada kondisi asam (pH 3 dan pH 5) degradasi Rhodamin B secara ozonolisis non - katalitik yang dominan terjadi secara langsung oleh ozon, sedangkan ozonolisis secara tidak langsung diabaikan karena pembentukan radikal OH sangat kecil.

Pada kondisi basa (pH 9) degradasi Rhodamin B secara ozonolisis non-katalitik dominan terjadi karena reaksi ozonolisis secara tidak langsung oleh radikal OH dan reaksi hidrolisis melalui substitusi nukleofilik ion  $\text{OH}^-$  terhadap Rhodamin B. Dekomposisi ozon dapat diawali oleh ion  $\text{OH}^-$ .

Pada kondisi netral (pH 7) degradasi Rhodamin B paling rendah dibandingkan dengan kondisi lain (pH 3, 5, dan 9). Hal ini disebabkan pada pH tersebut ozonolisis Rhodamin B secara langsung oleh ozon dan secara tidak langsung oleh radikal OH berlangsung lebih singkat. Dengan demikian berkurangnya Rhodamin B lebih kecil dibandingkan pH 3, 5, dan 9. Data absorbansi dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L secara ozonolisis dengan variasi pH dan perhitungan persentase degradasi Rhodamin B dapat dilihat pada Lampiran 6.

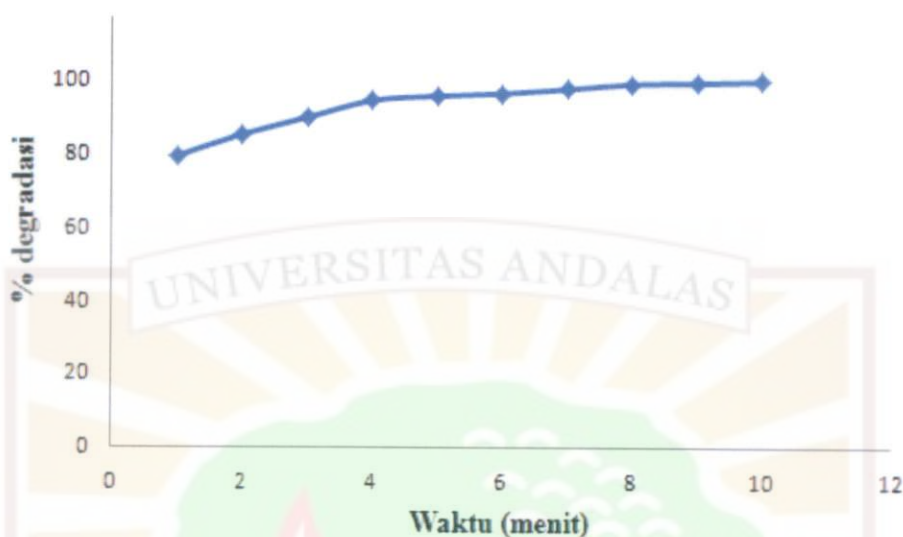
#### **4.4.2 Penentuan Persentase Degradasi dengan Variasi Waktu Ozonolisis**

Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L dilakukan selama 10 menit pada pH 3 dengan interval waktu 1 menit. Pada ozonolisis tidak dilakukan pengaturan suhu, karena selama ozon ( $\text{O}_3$ ) dialirkan suhu larutan Rhodamin B terus turun secara signifikan, oleh karena itu sangat sulit mengatur suhunya dari luar wadah dalam hal ini erlenmeyer.

Gambar 10 memperlihatkan bahwa persentase degradasi Rhodamin B meningkat dengan bertambahnya waktu, karena semakin lama waktu ozonolisis semakin banyak pula  $\text{O}_3$  yang dialirkan ke dalam larutan Rhodamin B 2 mg/L, maka semakin banyak ikatan  $\pi$  pada senyawa Rhodamin B yang putus dan



menghasilkan radikal OH. Dimana setelah 10 menit persentase degradasi dengan menggunakan ozonolisis mencapai 99,51%.



**Gambar 10.** Kurva persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 3 terhadap variasi waktu.

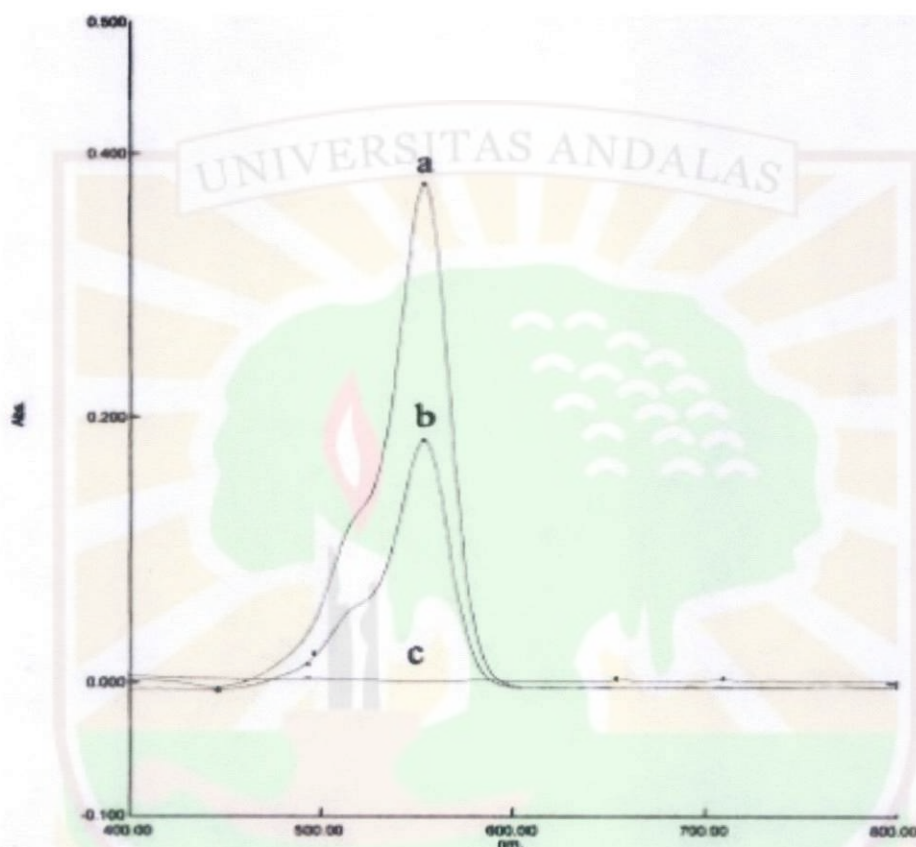
Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L secara ozonolisis dengan variasi waktu dan perhitungan persentase degradasi Rhodamin B dapat dilihat pada Lampiran 7.

#### **4.5 Pendeteksian Hasil Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dan Ozonolisis Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan HPLC**

Pendeteksian hasil degradasi zat warna Rhodamin B secara sonolisis dan ozonolisis dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan HPLC. Pengukuran spektrum serapan Rhodamin B 2 mg/L dilakukan pada kondisi optimum pendegradasian. Degradasi zat warna Rhodamin B 2 mg/L secara sonolisis optimum pada pH 5, suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 180 menit dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase. Sedangkan degradasi Rhodamin B 2 mg/L secara ozonolisis optimum pada pH 3 selama 10 menit. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400 - 800 nm.

Gambar 11 memperlihatkan bahwa terjadi penurunan puncak spektrum serapan setelah dilakukannya degradasi. Penurunan yang sangat nyata terjadi pada

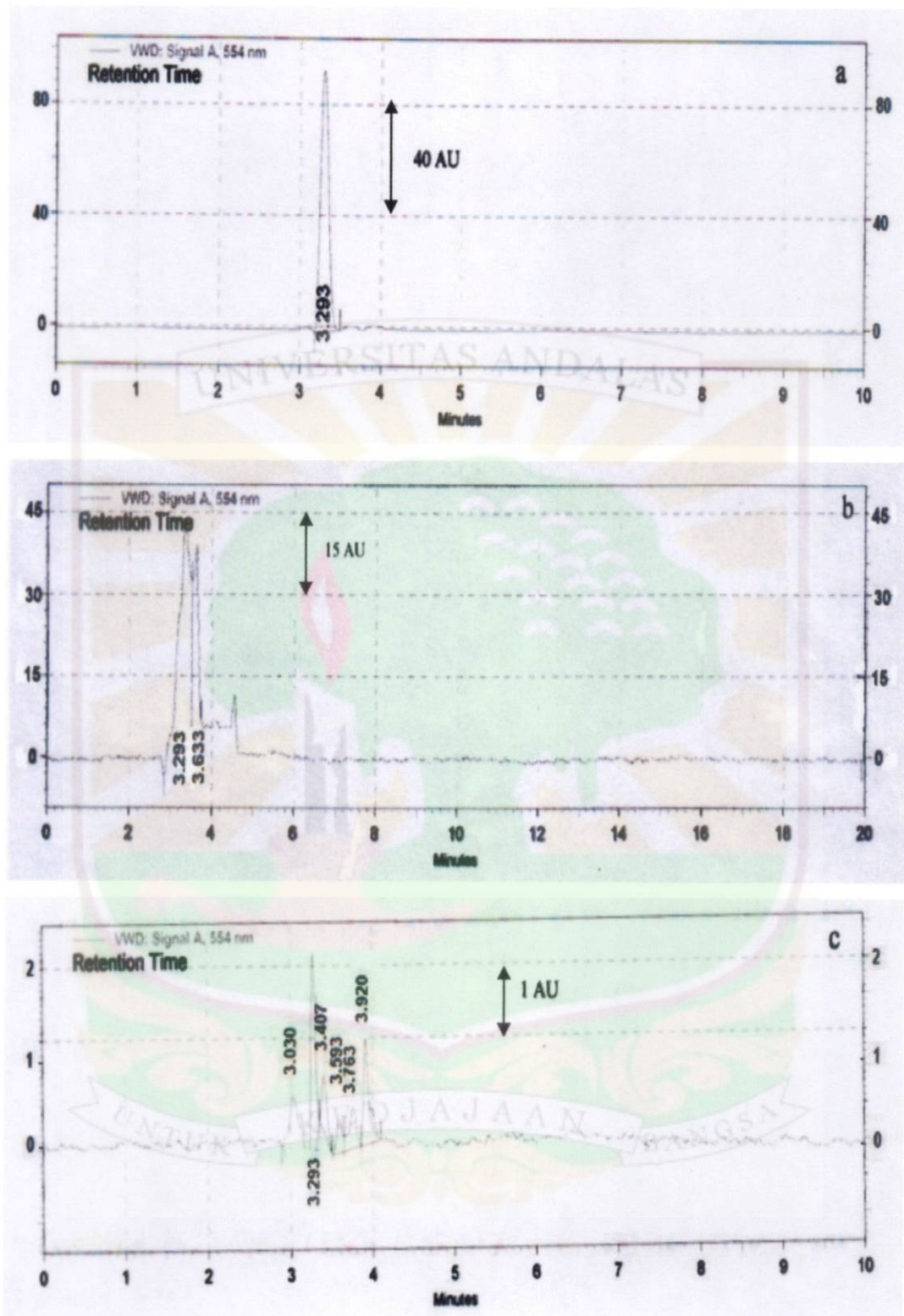
spektrum serapan setelah degradasi secara ozonolisis. Hal ini sesuai dengan persentase degradasi yang diperoleh, dimana setelah sonolisis didapatkan persentase degradasi sebesar 60,05% sedangkan setelah ozonolisis mencapai 99,51%.



**Gambar 11.** Spektrum serapan Rhodamin B 2 mg/L (a) sebelum ozonolisis dan sonolisis, (b) setelah sonolisis pada pH 5, suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  selama 180 menit dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase, dan (c) setelah ozonolisis pada pH 3 selama 8 menit.

Pendeteksian dengan menggunakan HPLC juga dilakukan pada kondisi optimum pendegradasian. Kolom yang digunakan pada HPLC ini yaitu kolom Agilent TC- $\text{C}_{18}$  dengan ukuran 250 x 4,6 mm id. Fasa gerak yang digunakan disini yaitu metanol HPLC grade dengan metoda isokratik. Suhu kolom  $30^{\circ}\text{C}$ , laju alir 1 mL/menit dan volume injeksi sebanyak 20  $\mu\text{L}$ . Gambar 12 memperlihatkan kromatogram hasil degradasi Rhodamin B sebelum dan setelah sonolisis serta ozonolisis yang dideteksi menggunakan HPLC.

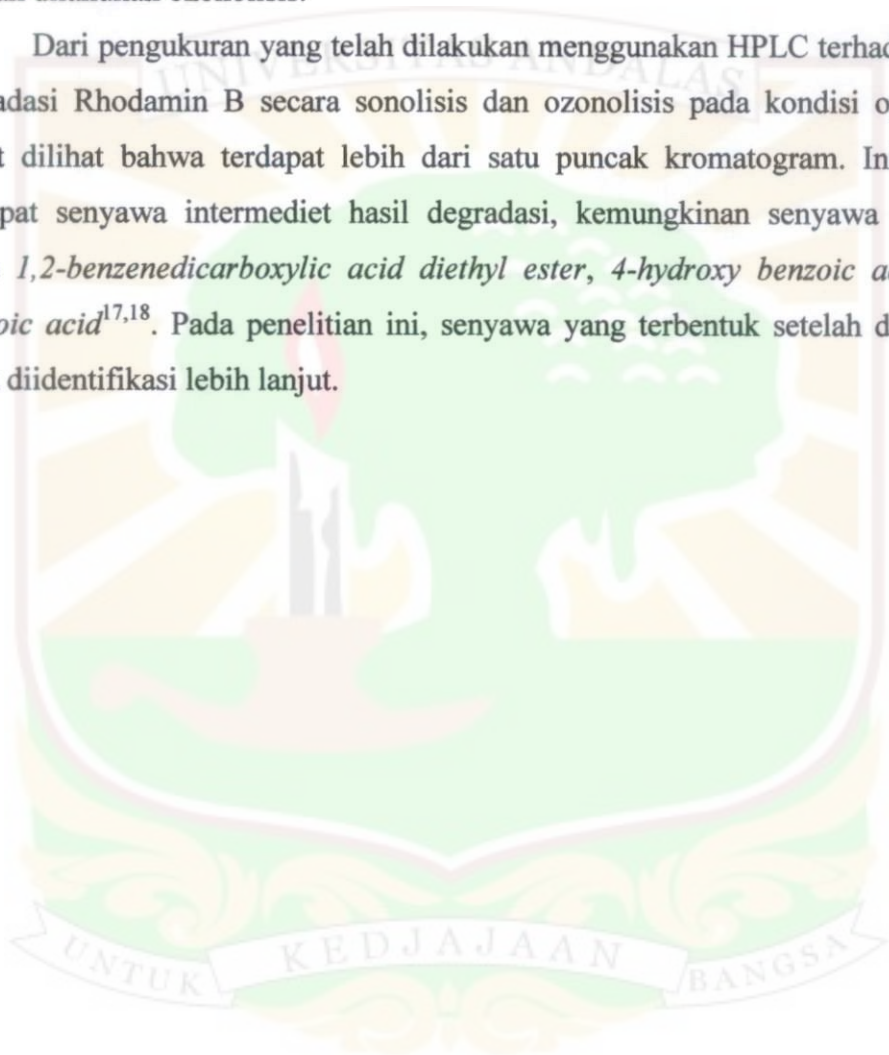




**Gambar 12.** Kromatogram HPLC Rhodamin B 2 mg/L (a) sebelum sonolisis dan ozonolisis, (b) setelah sonolisis pada pH 5, suhu  $40\pm 1^\circ\text{C}$  selama 180 menit dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase, (c) setelah ozonolisis pada pH 3 selama 8 menit. Kolom Agilent TC- $\text{C}_{18}$ , fasa gerak metanol HPLC grade, laju alir 1 mL/menit, volume injeksi 20  $\mu\text{L}$ ,  $\lambda = 554 \text{ nm}$ , dan detektor UV-Vis.

Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa senyawa Rhodamin B muncul pada waktu retensi 3,293 menit. Intensitas senyawa Rhodamin B setelah dilakukan degradasi secara sonolisis dan ozonolisis berkurang. Penurunan intensitas senyawa Rhodamin B yang cukup besar adalah setelah didegradasi secara ozonolisis. Ini berarti sesuai dengan hasil persen degradasi yang diperoleh melalui spektrofotometer UV-Vis. Dimana degradasi terbesar terdapat pada senyawa setelah dilakukan ozonolisis.

Dari pengukuran yang telah dilakukan menggunakan HPLC terhadap hasil degradasi Rhodamin B secara sonolisis dan ozonolisis pada kondisi optimum, dapat dilihat bahwa terdapat lebih dari satu puncak kromatogram. Ini berarti terdapat senyawa intermediat hasil degradasi, kemungkinan senyawa tersebut yaitu *1,2-benzenedicarboxylic acid diethyl ester*, *4-hydroxy benzoic acid*, dan *benzoic acid*<sup>17,18</sup>. Pada penelitian ini, senyawa yang terbentuk setelah degradasi tidak diidentifikasi lebih lanjut.





## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Degradasi zat warna Rhodamin B 2 mg/L secara sonolisis optimum pada pH 5, suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ , waktu 180 menit dengan persentase degradasi sebesar 17,32%. Proses degradasi Rhodamin B dengan bantuan katalis  $\text{TiO}_2$  anatase berlangsung lebih cepat daripada bila degradasi Rhodamin B dilakukan hanya dengan proses sonolisis saja. Dimana dengan sonolisis selama 180 menit, Rhodamin B 2 mg/L pada pH 5, suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  dihasilkan persentase degradasi sebesar 60,05%. Degradasi Rhodamin B 2 mg/L secara ozonolisis optimum pada pH 3 dan persentase degradasi mencapai 99,51% setelah 10 menit ozonolisis. Dari kedua metoda ini, ozonolisis lebih efektif untuk mendegradasi senyawa Rhodamin B.

Hasil deteksi menggunakan HPLC juga menunjukkan Rhodamin B terdegradasi lebih besar dengan metoda ozonolisis. Kromatogram hasil deteksi Rhodamin B menghasilkan lebih dari satu puncak kromatogram. Puncak tersebut selain senyawa Rhodamin B merupakan intermediat dari produk degradasi senyawa Rhodamin B.

### 5.2 Saran

Pendeteksian hasil degradasi dengan HPLC menunjukkan terbentuknya puncak-puncak baru dan pemisahan yang masih belum sempurna, maka untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisis kualitatif senyawa intermediat hasil degradasi Rhodamin B. Salah satu alat yang dapat digunakan yaitu HPLC-MS. Agar dihasilkan pemisahan yang sempurna, disarankan untuk mencari kondisi fasa diam dan fasa gerak yang sesuai.

## DAFTAR PUSTAKA

1. W. Andayani, A. Sumartono. Aplikasi Radiasi Pengion Dalam Penguraian Limbah Industri, Radiolisis Larutan Standar Zat Warna Reaktif Cibacron Violet 2R. *Majalah Batan*. 27(1) (1999).
2. U. S. Departement of Labor Occupational Safety & Health Administration. *Rhodamin B*. 2000.
3. <http://www.dayakology.com/kr/ind/2004/107/utm/htkl.Rhodamin>.
4. <http://www.Chemicalland21.com/arokorhi/specialtychem/finechem.Dyes>. (20 Januari 2008).
5. N. L. Stock, J. Peller, K. Vinodgopal, P. V. Kamat. Combinative Sonolysis and Photocatalysis for Textile Dye Degradation. *J. Environ. Sci. Tech.*, 34(9): 1747-1750 (2000).
6. Safni, Maizatisna, Zulfarman, T. Sakai. Degradasi Zat Warna Naphtol Blue Black Secara Sonolisis Dan Fotolisis dengan Penambahan TiO<sub>2</sub> Anatase. *J. Ris. Kim.*, 1(1): 43-48 (2007).
7. Safni, U. Lukman, F. Febrianti. Degradasi Zat Warna Sudan I Secara Sonolisis dan Fotolisis Dengan Penambahan TiO<sub>2</sub> Anatase. *J. Ris. Kim.*, 1(2): 164-170 (2008a).
8. Safni, Z. Zuki, C. Hayati. Degradasi Zat Warna Alizarin Secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO<sub>2</sub> Anatase. *J. Pilar Sains.*, 17(1): 31-36 (2008b).
9. Safni, Zulfarman, D. F. Wulandari. Degradasi Indigo Carmin Secara Sonolisis dan Fotolisis Dengan Penambahan TiO<sub>2</sub> Anatase. *J. Sains MIPA.*, 14(3): 143-149 (2008c).
10. Safni, Zulfarman, F. Sari, Maizatisna. Degradasi Zat Warna Metanil Yellow Secara Sonolisis dan Fotolisis Dengan Penambahan TiO<sub>2</sub> Anatase. *J. Sains Materi Indonesia.*, 11(1): 47-51 (2009).
11. Safni, H. Suyani, T. N. H. Puteri. Degradasi Zat Warna Rhodamin B Secara Sonolisis dan Fotolisis Dengan Penambahan TiO<sub>2</sub> Anatase. *J. Sains MIPA.*, 13(1): 39-42 (2008).
12. L. F. Tietze, M. Bratz. Ozonolysis Mechanism in Organic Chemistry. *Org. Synth.*, 9: 314 (1998).



13. X. Xian-wen, S. Hui-xiang, W. Da-hui. Ozonation with Ultrasonic Enhancement of *p*-nitrophenol Wastewater. *J. Zhejiang. Univ. Sci B.*, 6(5): 319-323 (2005).
14. H. Du, R. A. Fuh, J. Li, L. A. Corkan, J. S. Lindsey. PhotochemCAD: A Computer-Aided Design and Research Tool in Photochemistry. *Photochemistry and Photobiology*. 68(2): 141-142 (1998).
15. H. Destailats, T. W. Anderson, M. R. Hoffman. Application of Ultrasound in NAPL Remediation: Sonochemical Degradation of TCE in Aqueous Surfactant Solutions. *J. Environ. Sci. Tech.*, 35(14): 3019-3024 (2001).
16. A. Hiskia, M. Ecke, A. Troupis, A. Kokorakis, H. Hennig, E. Papaconstatinou. Sonolytic, Photolytic, and Photocatalytic Decomposition of Atrazin in the Presence of Polyoxometalates. *J. Environ. Sci. Tech.*, 35(11): 2358-2364 (2001).
17. A. Mehrdad, R. Hashemzadeh. Determination of Activation Energy for the Degradation of Rhodamine B in the Presence of Hydrogen and Some Metal Oxide. *J. Chem. Soc. Pak.*, 31(5): 738-743 (2009).
18. L. Jing-yi, M. A. Wan-hong, L. E. I. Peng-xiang, Z. H. A. O. Jin-cai. Detection of Intermediates in the TiO<sub>2</sub>-Assisted Photodegradation of Rhodamine B Under Visible Light Irradiation. *J. Environ. Sci.*, 19: 892-896 (2007).
19. J. Peller, O. Wiest, P. V. Kamat. Sonolysis of 2,4-Diclorophenoxyacetic Acid in Aqueous Solutions. Evidence for OH-Radical-Mediated Degradation. *J. Phys. Chem. A.*, 105(13): 3176-3181 (2001).
20. J. Wang, B. Guo, X. Zhang, Z. Zhang, J. Han, J. Wu. Sonocatalytic Degradation of Methyl Orange in the Presence of TiO<sub>2</sub> Catalysts and Catalytic Activity Comparison of Rutile and Anatase. *J. Ultrasonics Sonochemistry*, 12(5): 331-337 (2005).
21. M. Dukkanci, G. Gunduz. Ultrasonic Degradation of Oxalic Acid in Aqueous Solutions. *J. Ultrasonic Sonochemistry*, 13(6): 517-522 (2006).
22. A. Vogelpohl, S. Kim. Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *J. Ind. Eng. Chem.*, 10(1): 33-40 (2004).
23. A. Fujishima, T. N. Rao, D. A. Tryk. Titanium Dioxide Photocatalysis. *J. Photochemistry and Photobiology*, 1-21 (2000).
24. J. Gunlazuardi. Fotokatalisis pada Permukaan TiO<sub>2</sub> : Aspek Fundamental dan Aplikasinya, Seminar Nasional Kimia Fisika II, Univ Indonesia. 2001.

25. T. Kameyama. Robust Science and Technology for Safe and Secure Life Space-Photocatalyst, Aist's Photocatalyst. 2002.
26. M. Vautier, C. Guillard, J. M. Hermann. Photocatalytic Degradation of Dyes in Water : Case Study of Indigo and of Indigo Carmine. *J. Catalysis.*, 201(1): 46-59 (2001).
27. S. M. Khopkar. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press: Jakarta. 2000. pp. 201-227.
28. A. L. Underwood, R. A. Day. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Terjemahan Hadyana, Pudjaatmaka, Edisi 4. Erlangga: Jakarta. 1998. p 201-227.
29. D. Ishii. *Introduction to Microscale High-Performance Liquid Chromatography*. VCH, Publisher Inc: New York. 1998.
30. R. J. Gritter, G. M. Bobbit, A. E. Schwarting. *Pengantar Kromatografi*. Terjemahan oleh Kosasih Padmawinata, Edisi ke-2. ITB: Bandung. 1991.
31. D. A. Skoog. *Principles of Instrumental Analysis*, 3<sup>rd</sup> ed. Saunders Golden Sumburst Series: New York. 1985.
32. C. F. Poole, S. K. Poole. *Chomatography today*, 1<sup>st</sup> ed. Elsevier science B. V. Netherlands. 1994.

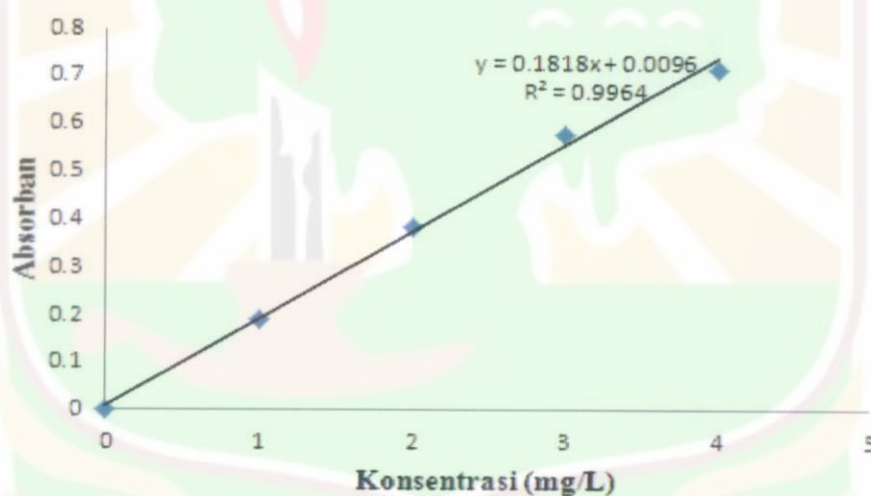


# Lampiran 1. Kurva Kalibrasi dan Perhitungan Penentuan Absorbtivitas Molar ( $\epsilon$ )

Tabel 1. Data absorban Rhodamin B pada variasi konsentrasi

Konsentrasi (mg/L)	Absorban (A)
1	0,189
2	0,385
3	0,577
4	0,715

Kurva Kalibrasi Standar Rhodamin B



Rumus :

$$\epsilon = \frac{A}{b \times c} \times Mr$$

Dimana :

A = Absorban

b = Lajur larutan (cm)

c = Konsentrasi ( $\text{g L}^{-1}$ )

$\epsilon$  = Absorbtivitas molar ( $\text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$ )

Mr = Massa molekul relatif ( $\text{g mol}^{-1}$ )

- Untuk konsentrasi larutan 1 mg/L

$$\epsilon = \frac{0,189}{1 \text{ cm} \times 0,001 \text{ gL}^{-1}} \times 479,02 \text{ g mol}^{-1} = 90.534,78 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

- Untuk konsentrasi larutan 2 mg/L

$$\epsilon = \frac{0,385}{1 \text{ cm} \times 0,002 \text{ gL}^{-1}} \times 479,02 \text{ g mol}^{-1} = 92.211,35 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

- Untuk konsentrasi larutan 3 mg/L

$$\epsilon = \frac{0,577}{1 \text{ cm} \times 0,003 \text{ gL}^{-1}} \times 479,02 \text{ g mol}^{-1} = 92.131,51 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

- Untuk konsentrasi larutan 4 mg/L

$$\epsilon = \frac{0,715}{1 \text{ cm} \times 0,004 \text{ gL}^{-1}} \times 479,02 \text{ g mol}^{-1} = 85.624,82 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$$

Absorbktivitas molar ( $\epsilon$ ) rata-rata

$$\begin{aligned} &= \frac{(90.534,78 + 92.211,35 + 92.131,51 + 85.624,82) \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}}{4} \\ &= 90.125,62 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$



Lampiran 2. Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L setelah sonolisis tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada variasi pH

Tabel 2. Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L setelah sonolisis tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 1 jam terhadap variasi pH

pH	Absorban awal	Absorban akhir	Persentase degradasi (%)
3	0,410	0,408	0,49
5	0,433	0,398	8,08
7	0,424	0,401	5,42
9	0,416	0,403	3,12

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{A_{\text{awal}} - A_{\text{akhir}}}{A_{\text{awal}}} \times 100 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,408}{0,410} \times 100 \% = 0,49 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,398}{0,433} \times 100 \% = 8,08 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 7 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,424 - 0,401}{0,424} \times 100 \% = 5,42 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 9 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,416 - 0,403}{0,416} \times 100 \% = 3,12 \%$$

Lampiran 3. Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada variasi suhu

Tabel 3. Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase selama 1 jam terhadap variasi suhu

Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	Absorban (A)	Persentase degradasi (%)
30 $\pm$ 1	0,420	3,00
35 $\pm$ 1	0,414	4,39
40 $\pm$ 1	0,398	8,08
45 $\pm$ 1	0,401	7,39
50 $\pm$ 1	0,418	3,46
55 $\pm$ 1	0,422	2,54

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu 30 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,420}{0,433} \times 100 \% = 3,00 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu 35 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,414}{0,433} \times 100 \% = 4,39 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu 40 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,398}{0,433} \times 100 \% = 8,08 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu 45 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,401}{0,433} \times 100 \% = 7,39 \%$$



- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $50 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,418}{0,433} \times 100 \% = 3,46 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $55 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 1 jam

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,422}{0,433} \times 100 \% = 2,54 \%$$



Lampiran 4. Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis pada suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase terhadap variasi waktu

Tabel 4. Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis pada suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase terhadap variasi waktu

Waktu (menit)	Absorban (A)	Persentase degradasi (%)
30	0,401	7,39
60	0,398	8,08
90	0,369	14,78
120	0,366	15,47
150	0,364	15,94
180	0,358	17,32

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,401}{0,433} \times 100 \% = 7,39 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,398}{0,433} \times 100 \% = 8,08 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  selama 90 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,369}{0,433} \times 100 \% = 14,78 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  selama 120 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,366}{0,433} \times 100 \% = 15,47 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 150 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,364}{0,433} \times 100 \% = 15,94 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 tanpa penambahan  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 180 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,358}{0,433} \times 100 \% = 17,32 \%$$





Lampiran 5. Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis dengan penambahan 0,1000 g *TiO<sub>2</sub> anatase* pada suhu 40±1°C terhadap variasi waktu

Tabel 5. Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 5 setelah sonolisis dengan penambahan 0,1000 g *TiO<sub>2</sub> anatase* pada suhu 40±1°C terhadap variasi waktu

Waktu (menit)	Absorban (A)	Persentase degradasi (%)
30	0,312	27,94
60	0,251	42,03
90	0,241	44,34
120	0,226	47,81
150	0,209	51,73
180	0,173	60,05

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan penambahan 0,1000 g *TiO<sub>2</sub> anatase* pada suhu 40±1°C selama 30 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,312}{0,433} \times 100 \% = 27,94 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan penambahan 0,1000 g *TiO<sub>2</sub> anatase* pada suhu 40±1°C selama 60 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,251}{0,433} \times 100 \% = 42,03 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan penambahan 0,1000 g *TiO<sub>2</sub> anatase* pada suhu 40±1°C selama 90 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,241}{0,433} \times 100 \% = 44,34 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan penambahan 0,1000 g *TiO<sub>2</sub> anatase* pada suhu 40±1°C selama 120 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,226}{0,433} \times 100 \% = 47,81 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 150 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,209}{0,433} \times 100 \% = 51,73 \%$$

- Sonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase pada suhu  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 180 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,173}{0,433} \times 100 \% = 60,05 \%$$



Lampiran 6. Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L setelah ozonolisis pada variasi pH

Tabel 6. Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L setelah ozonolisis selama 5 menit terhadap variasi pH

pH	Absorban awal	Absorban akhir	Persentase degradasi (%)
3	0,410	0,019	95,36
5	0,433	0,022	94,92
7	0,424	0,074	82,55
9	0,416	0,066	84,13

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{A \text{ awal} - A \text{ akhir}}{A \text{ awal}} \times 100 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 10 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,019}{0,410} \times 100 \% = 95,36 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 5 selama 10 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,433 - 0,022}{0,433} \times 100 \% = 94,92 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 7 selama 10 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,424 - 0,074}{0,424} \times 100 \% = 82,55 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 9 selama 10 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,416 - 0,066}{0,416} \times 100 \% = 84,13 \%$$



Lampiran 7. Perhitungan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 3 setelah ozonolisis terhadap variasi waktu

Tabel 7. Data absorban dan persentase degradasi Rhodamin B 2 mg/L pH 3 setelah ozonolisis terhadap variasi waktu

Waktu (menit)	Absorban (A)	Persentase degradasi (%)
1	0,086	79,02
2	0,062	84,88
3	0,043	89,51
4	0,024	94,15
5	0,019	95,36
6	0,016	96,10
7	0,011	97,32
8	0,005	98,78
9	0,004	99,02
10	0,002	99,51

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 1 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,086}{0,410} \times 100 \% = 79,02 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 2 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,062}{0,410} \times 100 \% = 84,88 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 3 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,043}{0,410} \times 100 \% = 89,51 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 4 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,024}{0,410} \times 100 \% = 94,15 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 5 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,019}{0,410} \times 100 \% = 95,36 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 6 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,016}{0,410} \times 100 \% = 96,10 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 7 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,011}{0,410} \times 100 \% = 97,32 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 8 menit

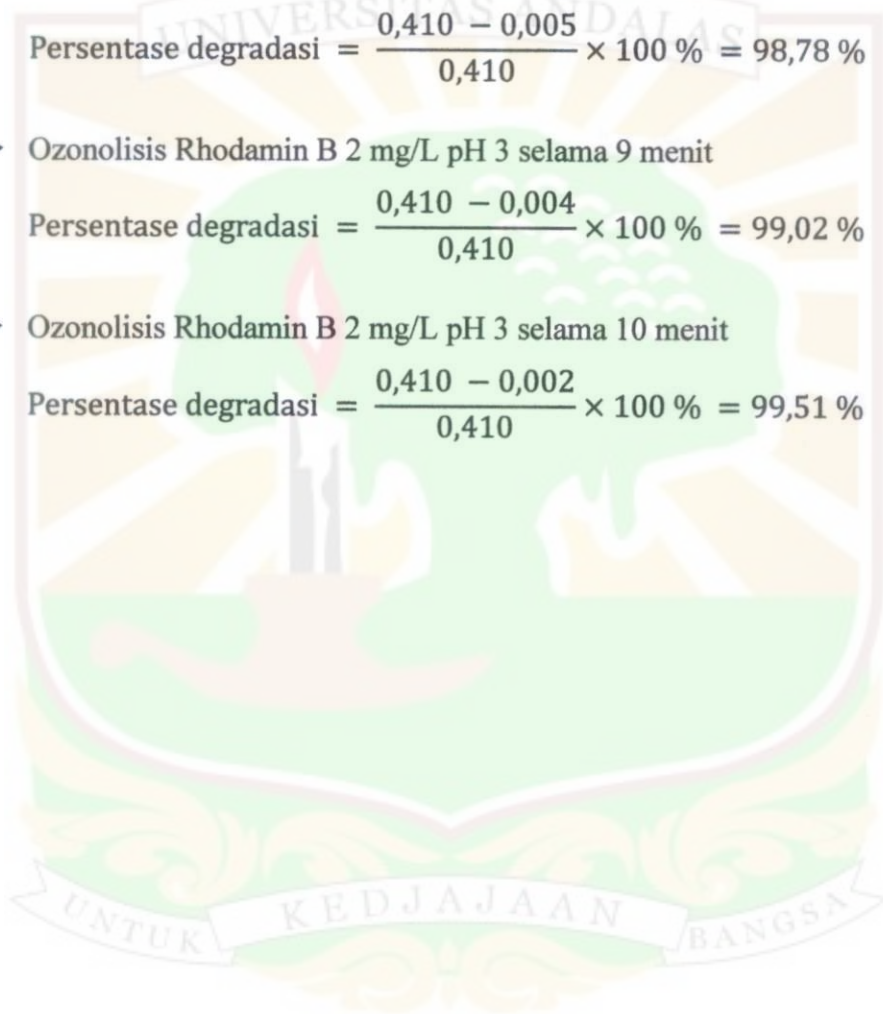
$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,005}{0,410} \times 100 \% = 98,78 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 9 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,004}{0,410} \times 100 \% = 99,02 \%$$

- Ozonolisis Rhodamin B 2 mg/L pH 3 selama 10 menit

$$\text{Persentase degradasi} = \frac{0,410 - 0,002}{0,410} \times 100 \% = 99,51 \%$$



Lampiran 8. Gambar Rhodamin B 2 mg/L (a) sebelum sonolisis pada pH 5, (b) setelah sonolisis 3 jam pada pH 5, suhu  $40\pm 1^{\circ}\text{C}$  dengan penambahan 0,1000 g  $\text{TiO}_2$  anatase, (c) sebelum ozonolisis pH 3, dan (d) setelah ozonolisis 8 menit pada pH 3.



a

b

c

d

